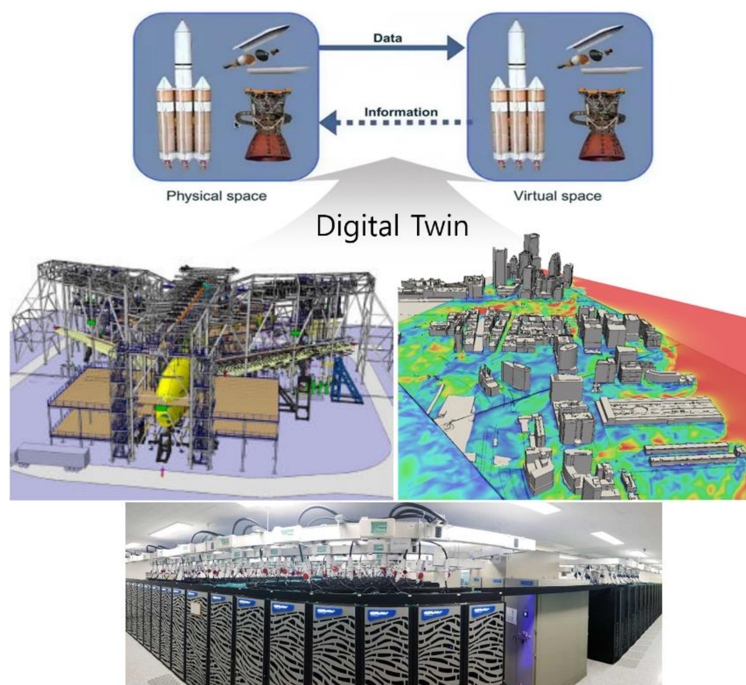
공학 시뮬레이션 기반 디지털트윈

(Engineering Simulation Based Digital Twin)



윤태호

KISTI www.kisti.re.kr 한국과학기술정보연구원 Korea Institute of Science and Technology Information

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

목차

들어가며 1

제 1 장 4 차 산업혁명 시대의 대응 노력 3

제 1 절 인더스트리 4.0 3

제 2 절 4 차 산업혁명 3

제 3 절 시대적 대응 노력 4

제 2 장 디지털트윈의 개요 7

제 1 절 디지털트윈의 의미 및 역할 7

제 1 항 디지털트윈의 정의 7

제 2 항 구성 형태 및 동작 9

제 3 항 디지털트윈의 역할 11

제 2 절 디지털트윈 특성 13

제 1 항 양방향성 13

제 2 항 기술이 아닌 모델 13

제 3 항 시뮬레이션이 핵심 기술 13

제 4 항 가상모델의 디지털 페어 용어 적응 13

제 3 절 주변 기술 관련성 14

제 1 항 사이버 물리 시스템 14

제 2 항 디지털 쓰레드 17

제 3 항 디지털 쉐도우 18

제 3 장 디지털트윈의 발생 및 활용 상황 21

제 1 절 디지털트윈의 탄생 및 발전 21

제 1 항 디지털트윈 개념의 발현 22

제 2 항 디지털트윈 개념 정립 22

제 3 항 디지털트윈 용어 사용 23
제 4 항 디지털트윈 활용 단계 23
제 5 항 시장의 주목 23
제 6 항 현재 상황 27
제 2 절 활용 분야 29
제 1 항 제품 29
제 2 항 제조 31
제 3 항 도시화 33
제 4 항 에너지 37
제 5 항 물류 40
제 6 항 기타 41
제 3 절 활용 도구 개발 상황 43
제 1 항 산업용 사물인터넷 43
제 2 항 시뮬레이션 도구 46
제 3 항 데이터 분석 및 가시화 도구 50
제 4 장 공학 시뮬레이션 활용 53
제 1 절 공학 시뮬레이션 개요 53
제 2 절 공학 시뮬레이션의 구분 54
제 3 절 공학 시뮬레이션 도구 58
제 1 항 공학 소프트웨어 도구 58
제 2 항 컴퓨터 하드웨어 도구 58
제 4 절 가상시험 59
제 1 항 전기체 가상구조시험 61
제 2 항 가상풍동시험 62
제 5 장 공학 시뮬레이션을 통한 디지털트윈 완성 65

제 1 절 시뮬레이션과 디지털트윈의 관계 65
제 2 절 디지털트윈의 핵심기술인 공학 시뮬레이션 65
제 3 절 검증 및 실증 67
제 4 절 인공지능 활용 68
제 5 절 디지털트윈의 완성 70
제 6 장 디지털트윈 전망 및 준비 75
제 1 절 시장 예측 75
제 1 항 시장 조사 자료 75
제 2 항 데이터 거래 시장 형성 76
제 2 절 디지털트윈을 위한 대응 준비 77
제 1 항 소프트웨어 기술력 확보 방안 필요 77
제 2 항 다양한 플랫폼/솔루션 출시 78
제 3 항 고충실도의 공학 시뮬레이션 연계 활용 78
제 7 장 시사점 81
제 1 절 디지털트윈 개념의 인식 개선 81
제 2 절 정부 주도의 로드맵 마련 및 실증사업 활성화 81
제 3 절 국가 주도의 플랫폼 지원 및 생태계 체계 마련 81
제 4 절 공학 시뮬레이션의 활성화 체계 지원 82
제 5 절 산업체 고성능컴퓨터 활용 지원 정책 추진 82
마무리 83
참고문헌 85

그림 목차

Figure 1.『Smart Factory & Manufacturing I: Digital Twin 기술』과총-학회 공동 포럼 2
Figure 2. 4차 산업혁명(출처: https://ict-story.tistory.com/63) 4
Figure 3. 디지털트윈 개념(출처: Mentor, a Siemens business) 7
Figure 4. 디지털트윈을 위한 물리모델과 가상모델의 관계[1] 8
Figure 5. 디지털트윈 절차(출처: 위키피디아) 8
Figure 6. 제조과정에서의 상세 디지털트윈 모델(출처: Deloitte University Press) 8
Figure 7. 3차원 디지털트윈 모델[9] 9
Figure 8. 5차원 디지털트윈 모델[9] 9
Figure 9. 제조 프로세스 상의 디지털트윈 동작(출처: Deloitte University Press) 10
Figure 10. 디지털트윈 예시 11
Figure 11. 아이언맨 12
Figure 12. 마인크래프트의 가상 공간(출처: ob Max Pixel) 12
Figure 13. CPS의 개념도 14
Figure 14. CPS 개념 관계(출처: NGC Study 2013, EUTEMA) 15
Figure 15. CPS 환경 구조 15
Figure 16. 스마트팩토리 운영 관리 시스템 프레임워크 17
Figure 17 디지털 쓰레드(이미지 출처: https://bit.ly/2ltfwTl) 18
Figure 18. 디지털트윈과 디지털 쓰레드 관계[24] 18
Figure 19. 디지털트윈과 디지털 쉐도우[25] 19
Figure 20. 클라우드 환경에서의 디지털트윈과 디지털 쉐도우[25] 19
Figure 21. 디지털트윈 역사[25] 21
Figure 22. 디지털트윈 발전 21
Figure 23. PLM을 위한 개념적 아이디어 22
Figure 24. PLM을 위한 개념적 아이디어의 정보 거울 모델[28] 23
Figure 25. 10대 전략 기술 동향(출처: 가트너, 2017) 24
Figure 26. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2017) 25
Figure 27. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2018) 25
Figure 28. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2019) 26
Figure 29. 최고 기술-Hannover Fair 2019(출처: IOT ANALYTICS) 27
Figure 30. 기술 동향-Hannover Fair 2019(출처: IOT ANALYTICS) 27
Figure 31. 볼보 엔진의 디지털트윈 30
Figure 32. 항공기 엔진의 디지털트윈(GE, Rolls-Royce)[36] 30

Figure 33. 항공기엔진 디지털트윈(출처: 한화에어로스페이스) 31
Figure 34. 로봇제조 시뮬레이션(출처: Dassault Systems)[26] 31
Figure 35. 고로의 디지털트윈[36,] 32
Figure 36. 보존 디지털트윈 장비(출처: 보존) 32
Figure 37. 가상 싱가포르의 디지털트윈(출처: https://bit.ly/2NqTVig) 33
Figure 38. 디지털트윈을 위한 풍향 시뮬레이션(출처: Virtual Singapore) 34
Figure 39. 보스턴 도시 목재 모델 34
Figure 40. 보스턴 그림자 평가 웹 35
Figure 41. 위쓰롭 스퀘어 타워 35
Figure 42. 런던 3D 모델(출처: PlaceTech) 36
Figure 43 프랑스의 렌시 디지털 시티(출처: 버추얼 렌) 36
Figure 44. 세종 스마트시티(출처: http://www.sejong-smartcity.com) 37
Figure 45. 아쿠아 디지털트윈(출처: 삼성전기) 37
Figure 46. 디지털 발전소(출처: 제너럴 일렉트로닉스)[38,] 38
Figure 47. 수력 발전소 터빈의 디지털트윈[41] 38
Figure 48. 아틱윈드(출처: Arctic Wind AS) 39
Figure 49. 필리핀 Lopez-led 가스발전소 디지털트윈 39
Figure 50. 원자로 디지털트윈, 40
Figure 51. 두바이 컨테이너 터미널 가상화(출처: Nokwon Information Technology) 40
Figure 52. 중철상해공정국(CRSEB) 하수 처리장(출처: 벤틀리 시스템즈) 41
Figure 53. MS의 홀로렌즈[38] 41
Figure 54. 포뮬러 원의 디지털트윈(출처: 지멘스) 42
Figure 55. 오벤의 디지털트윈 42
Figure 56. 시뮤딘의 시뮬레이션 플랫폼(출처: 시뮤딘)[38] 43
Figure 57. 프레딕스 플랫폼 개념 디자인(출처: 제너럴 일렉트로닉스) 44
Figure 58. 프레딕스 산업용 사물인터넷 아키텍쳐(출처: 제너럴 일렉트로닉스) 44
Figure 59. 마인드스피어(출처: 지멘스) 45
Figure 60. PTC 씽웍스(출처: PTC) 45
Figure 61. 슈나이더 일렉트릭 에코스트럭처(출처: 에코스트럭처) 46
Figure 62. 앤시스 트윈 빌더 솔루션 개념 디자인[1] 47
Figure 63. 지멘스 심센터[1] 47
Figure 64. 다쏘시스템 DELMIA[1] 48
Figure 65. 3D 익스피어리언스 플랫폼 솔루션 카티아(출처: 다쏘시스템) 48
Figure 66. PTC 크레오(출처: PTC) 49
Figure 67. 에너지플러스(출처:https://energyplus.informer.com/8.4/) 49

Figure 68. 이지로보틱스 DMWorks(출처: 이지로보틱스) 50
Figure 69. 소프트웨어 AG 트렌드마이너(출처: Software AG) 50
Figure 70. 허니웰 유니포먼스의 PHD(출처: 허니웰) 51
Figure 71. PTC의 뷰포리아 스튜디오(출처: PTC) 51
Figure 72. 포지를 정의하는 7개 그룹의 API(출처: 오토데스크) 52
Figure 73. 오토데스크 포지에 의한 디지털트윈 엔진[49] 52
Figure 74. 마인크래프트(좌)와 배틀 그라운드(우) 54
Figure 75. 눈덩이 굴리기 시뮬레이션(출처: 디즈니) 55
Figure 76. 빅 히어로 에니메이션에서의 55,000코어 사용 빛 시뮬레이션(출처:디즈니) 55
Figure 77. 목적 중심 단순 모델링[1] 56
Figure 78. 축차모델 방법 56
Figure 79. 축차모델 워크플로우 57
Figure 80. 앤시스 소프트웨어에서의 반응표면법 적용[55] 57
Figure 81. 앤시스 동적 축차모델 기술[55] 57
Figure 82. 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨터 5호기– 누리온(출처: KISTI 국가슈퍼컴퓨팅센터) . 59
Figure 83. 항공기 제작(출처: 에어버스 그룹) 60
Figure 84. F-35전투기 지상시험(출처: Composite World) 60
Figure 85. 전기체 가상구조시험 개념(출처: 에어버스) 62
Figure 86. 나사의 천음속 풍동시험 62
Figure 87. 실제 크기의 자동차 풍동 시험[57] 63
Figure 88. 축소 비행기 풍동 시험[57] 63
Figure 89. 도시 풍동시험(출처: Simscale) 64
Figure 90. 다쏘시스템의 모델/데이터 기반 응용 소프트웨어 67
Figure 91. 인간 복제를 위한 검증 및 실증(출처: https://blog.naver.com/esrikr/221578286323) 68
Figure 92. 차량 충돌 시뮬레이션 69
Figure 93. 머신러닝과 유한요소방법의 빔 변위 비교[60] 69
Figure 94. 빔에 대한 텐서플로우와 유한요소방법의 주파수 비교[60] 70
Figure 95. 플랜트 산업을 위한 딥러닝 이용 열해석 70
Figure 96. 펌프 유닛의 디지털트윈 데모(태성에스앤이 CAE 컨퍼런스, 2019) 71
Figure 97. 디지털트윈을 위한 전체 가치사슬 72
Figure 98. OPENPDM의 가치 사슬[25] 72
Figure 99. 디지털트윈을 위한 디지털 쉐도우의 협업[62] 73
Figure 100. 디지털트윈 마켓[65] 75
Figure 101. 디지털트윈의 글로벌 마켓 76
Figure 102. 데이터 기반 비즈니스 변화[36] 77

Figure 103. 디지털트윈의 비즈니스 가치 78

표 목차

TABLE 1. CPS와 디지털트윈의 비교[19] 16

들어가며

디지털 전환(Digital transformation)이 중심인 4차 산업혁명 시대에 살아가고 있는 우리들에게 4차 산업혁명을 직접적으로 대변해 줄 수도 있을 것 같은 용어가 디지털트윈(Digital twin)이다. 디지털트윈이 추구하는 이상적인 개념(또는 모델, 혹자의 경우 기술로 나타내고도 있으나 본질은 아님)을 제대로 이해시킬 수 있도록 하는데 있어 이것보다 효과적인 용어는 더 이상 없다고 생각된다. 하지만 현재 디지털트윈의 시장 확대 및 관심 증가 추세에도 불구하고 디지털트윈의 개념/활용 등에 대한 인식 차이의 존재, 디지털트윈 운용환경 구성 요소의 다양성과 각각의 관련 기술에 대한 이해 부족이 현실적으로 남아 있는 상황이다.[1] 디지털트윈이라는 매력적 용어는 산업 전반에서 상당히 많이 사용되고 있는 상황이나 개념의 오해가 불러일으킬 수도 있는 디지털트윈에서의 기반이 되는 공학 시뮬레이션의 기술 적용 한계는 여전히 남아있는 상황이다. 이로 인해 특히 제조업 분야에서 만들어내는 제품의 경우 아직까지 실제 디지털트윈을 적용함에 있어서 적정 기술 수준까지 도달했다고는 보기 힘든 단계에서 해당 용어가 무분별하게 사용되는 경우가 많다고 느껴지고 있다.

각 산업별로 활용되는 디지털트윈에 대해서도 제대로 된 공학 시뮬레이션 기반으로 보기 보다는 사물인터넷(IoT) 등 일부 기술을 확대 포장해 디지털트윈이 완성된 것처럼 끼워 맞춰져 이용하고 있다는 생각을 버릴 수 없는 상황이다. 각 산업별 디지털트윈의 적용 수준 완성도에 있어 시뮬레이션 활용 범위 및 반영 수준에 따라 디지털트윈이라는 개념의 활용에서부터 차이가 나타날 수 밖에 없을 것이다. 저자가 2019년 6월 28일 한국과학기술회관에서 열렸던 과총-학회 공동 포럼의『Smart Factory & Manufacturing I: Digital Twin 기술』이라는 주제의 발표 및 토론에 참석할 기회가 있었다. 이곳에서 디지털트윈이 제조 혁신을 지원하는 훌륭한 도구로써 그 중요도를 크게 볼 수는 있겠지만, 아직까지 해당 분야에서도 완벽하게 디지털트윈의 개념이 제대로 반영되지 못하고 일부로서만 활용 가능한 상태로 있다는 느낌을 받았었다. 즉, 디지털트윈 개념이 단지 시대상을 반영한 인기를 얻은 용어의 힘만을 빌려 쓴다면 스마트 팩토리(Smart factory)을 위해 자칫 잘못된 방향으로 활용될 소지가 있어 보였다. 당시 포럼에서 저자는 디지털트윈의 용어가 스마트 팩토리 분야에서의 기술 활성화를 촉발시키는 수준에서 활용되는 것이 현실적이라는 의견을 제시하기도 하였다.



Figure 1.『Smart Factory & Manufacturing I: Digital Twin 기술』과총-학회 공동 포럼

본 기술 보고서는 기본적으로 디지털트윈의 잘못된 개념 이해를 해소할 수 있도록 하고, 각 산업분야에서도 이상적인 디지털트윈 용어만을 추구하지 않는 제대로 된 의미 전달 및 올바른 사용이 가능하도록 도와주고자 하였다. 단지 이상적 용어로만 활용되는 것이 아닌 직접 산업체 별로도 효과적이게 해당 디지털트윈 모델 적용이 가능하도록 하는 가이드가 필요하다고 생각하게 된 것이다. 이를 위해 산업 전반에서 디지털트윈이 그 의미대로 제대로 동작할 수 있도록 하기 위한 공학 시뮬레이션의 역할을 제대로 이해할 수 있게 하고, 해당 기술이 디지털트윈에 내재한 연계 기술로써 활용될 수 있도록 상세하게 내부를 살펴보도록 하였다. 이를 통해 4차 산업혁명 시대에 디지털트윈이 국가 산업발전에 이바지 할 수 있는 기술적 활용 방안도 함께 제공하고자 하는 의도로 기술하게 되었다.

본 보고서는 1장에서 4차 산업혁명 시대의 제조업 포함 산업체 및 정부 등 산·학·연·관의 국내외 대응 상황을 설명하였다. 2장은 많은 보도자료와 매체에서 자주 회자되고 있는 디지털트윈이 기본적으로 갖추고 있는 의미와 역할, 다른 기술들과의 관계성에 대해 다루었다. 3장에서는 디지털트윈의 발전 과정과 활용 분야 등을 심도 있게 살펴보았다. 그리고 4장에서는 디지털트윈의 기반 기술인 공학 시뮬레이션의 의미와 활용 및 그 중요도에 대해 검토하였다. 다음으로 5장에서 디지털트윈의 개념이 성공을 거두기 위해 꼭 필요로 하는 요소인 시뮬레이션과 사물인터넷 중의 하나로써 그 중요도가 높다고 할 수 있는 공학 시뮬레이션이 디지털트윈에 적합할 수 있도록 하는 디지털트윈과의 상호 연계성에 대해 설명하였다. 이를 통해 6장에서는 디지털트윈의 전망 및 이를 위한 구체적 대비 자세를 다루었다. 마지막으로 7장에서는 전 산업분야에서 디지털트윈의 효과적 활용을 통해 4차 산업혁명 시대에서 우리나라가 전 세계 우위를 점하는 선도 국가가 되기 위한 시사점에 대해 기술하며 마무리 하였다.

제 1 장 4차 산업혁명 시대의 대응 노력

4차 산업혁명(4th industrial revolution)은 그 동안 활용되어 오던 기존 전통적인 기술적 생산 방식에서 벗어나 새로운 협력과 융합 및 미래지향적 기술들의 융·복합 기술 적용이 요구되고 있다. 이러한 4차 산업혁명은 2016년 다보스포럼에서 처음 나온 것으로 독일의 주도로 유럽에서 먼저 시작한 인더스트리(Industry) 4.0을 모티브로 하여, 미국을 중심으로 디지털이 중심이 되는 신 기술적 시대를 대변하고자 하는 전략적 기술 활용 단계로써 선정된 것이라고 풀이할 수 있다. 본 장에서는 4차 산업혁명의 의미를 살펴보고 현 시대에서의 적절한 대응을 위해 준비해야 할 사항들을 점검하였다.

제 1 절 인더스트리 4.0

인더스트리 4.0은 2011년 독일공학협회(VDI)에서 처음으로 언급됐던 용어로 같은 해 독일 하노버 메시에서 처음으로 확정되었다.[2] 독일 인공지능연구소(DFKI)는 이를 독일 국가의 미래 전략으로 제안하였고 독일 정부가 2012년 비로소 인더스트리 4.0을 채택하게 되었다.[3] 이는 중국, 인도 등 신흥국과의 제조 생산에서 우위를 점하기 위해 공장의 완전 자동화를 통한 인건비 절감, 품질 향상 등을 실현하려는 계획이었던 것이다. 인더스트리 4.0은 독일에서 하이테크 전략 2020에 편입하였으나 초기에는 민간 주도로 이뤄지면서 갈등이 많아지면서 잘 이뤄지지 않았다. 하지만 정부가 주도하여 플랫폼 인더스트리 4.0으로 명칭을 바꾸면서부터는 해당 사업이 비로소 수행될 수 있었다.[4]

제 2 절 4차 산업혁명

2016년 다보스 포럼에서 채택된 4차 산업혁명은 3차 산업혁명을 기반으로 한 디지털, 생물학, 물리학 등의 경계가 없어지고 융합되는 기술 혁명을 의미한다. 이에 따라 사회·경제 구조 변화가 이전 산업혁명에 버금가는 수준이 될 것이라고 내다본 것이다. 4차 산업혁명이 3차 산업혁명과 가장 구분되는 기준은 생산방식에서 '소통'의 유무라고 할 수 있다. 다보스 포럼에서 언급된 주요 기술로는 사물 인터넷, 로봇공학, 3D프린팅, 빅데이터, 인공지능 등 5대 기술이며, 대부분 정보통신기술(이하 ICT) 관련 기술이나 물리학, 생물학과 융합된 스마트 팩토리, 무인 자율주행 자동차 등 새로운 제품 및 서비스의 창출이 해당된다. 그리고 사물인터넷 등 주요 기술의 발전과 기술간 융합이 4차 산업혁명을 촉발 및 가속화될 것으로 전망하였다.



Figure 2. 4차 산업혁명(출처: https://ict-story.tistory.com/63)

현재의 획기적 기술 진보는 인류가 전혀 경험하지 못한 속도로 빠르게 진화되고 있으며, 각국의 전반적인 산업에서 파괴적 기술(Disruptive Technology)에 의해 대대적으로 재편이 예상된다. 기술 혁신에 의한 생산, 관리, 지배구조 등을 포함한 사회 전체의 시스템에서 큰 변화가 있을 것으로 본 것이다. 또한 세상 만물은 연결과 소통을 통해 협력하는 초연결시대, 디지털 전환 등의 구호와 함께 중요한 움직임을 보인다고 보았으며, 사물인터넷과 인공지능(AI)이 주요 기술로 제시되었다. 그리고 4차 산업혁명에서는 초연결과 지능 및 자동화라는 가치도 추구하고자 하였다. 4차 산업혁명을 위해 미국은 '국가혁신전략 (A Strategy for American Innovation)'과 '첨단제조파트너십(Advanced Manufacturing Partnership)'을 2009년과 2014년에 추진하였으며, 지속적으로 제조 산업의 경쟁력을 키우고 있는 중이다. 일본의 경우에 있어서는 2013년에 산업재흥 플랜을 세우기도 하였다.

제 3 절 시대적 대응 노력

전 세계적으로 4차 산업혁명 시대에 각 국의 기술 선점을 위해 끊임없는 노력해 가고 있는 중이다. 미국의 산업인터넷, 독일의 INDUSTRIE 4.0, 일본의 로봇 신전략, 중국의 제조2025 등과 함께 한국에서도 I-KOREA 4.0의 정책을 통해 국가 주도로 기술확보 노력을 추진 중에 있다. 현재 각 국가별 자국이 우위에 있는 분야를 중심으로 해당 기술이 산업체까지 원활하게 활용될 수 있도록 플랫폼을 구축하는 노력으로 주도권을 확보하기 위해 경쟁 중이며, 타 산업으로까지 연계시켜 갈 수 있는 기술적 우위를 점유해 나가려고 하고 있다.

우리나라의 경우 제조업 분야에서는 전 세계 3위까지 도달했던 찬란한 경제 성장의 기초가 되었던 역사를 갖고 있었다. 하지만 이제는 제조업 경쟁력이 지속적인 하락 국면에 놓여 있는 만큼 중대한 고민을 해야 할 시기를 맞이하고 있다. 이를 타개하기 위해 ICT를 활용한 신속한 의사결정 및 피드백의 필요에 따라 스마트 팩토리의 권장 및 소비자 맞춤형 지원까지로 제조 혁신의 확

대가 요구되는 것은 필연적인 상황이다. 이제는 단순 제조 영역에서만 끝나는 것이 아니라 운영 및 폐기까지의 제품 수명 전체를 아우르는 품질 책임형 서비스 영역으로의 확장이 시도되어야 한다. 그리고 제품 운영 관리 및 복잡 해석 영역의 전체 소프트웨어 개발이 모두 체인화 되도록 산업체의 인수합병(M&A) 또는 업체 간 연계 및 협업 개발 방식 등으로 플랫폼에 통합되는 소프트웨어(SW) 연계 서비스로 발전해 가야 하는 것이다.

그 동안 우리나라는 소프트웨어 및 플랫폼에 대해 무관심하게 해외 시장에 전적으로 의지하는 모습을 보여왔다. 이에 따라 각 분야나 기능별로도 소프트웨어 개발 선진국에 비해 월등한 차이로 밀리고 있는 상황으로 외산 소프트웨어 지배력에 쉽게 휩쓸리는 상황에 놓였던 것으로 판단된다. 따라서 디지털트윈 기능 확보용 소프트웨어 및 플랫폼의 기술 개발에 적극적으로 매달려야 한다. 공학 소프트웨어 회사들은 기존 설계 단계에서만 머물러 있던 기회 시장을 이제는 제품의 시장 판매 및 유지 단계에서도 보다 활발하게 사용될 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 효과적인 홍보 수단인 디지털트윈의 용어를 앞세워 경쟁적으로 시장에 신제품 판매 및 신기술 개발에 열을 올려야 하는 시점이다. 또한 이 시점에 공학 소프트웨어 경쟁력을 선진국 수준까지 끌어올리려는 정부의 투자 및 연구기관의 개발 노력들이 활발하게 추진되어야 한다.

제 2 장 디지털트윈의 개요

본 장에서는 4차 산업혁명 시대에 이상적으로 다가온 디지털트윈의 용어를 무분별하게 남용하는 것을 방지하고 디지털트윈의 개념(또는 모델)에 대해 확실하게 이해할 수 있도록 하기 위한 구체적인 가이드를 제공하도록 노력하였다. 이를 위해 디지털트윈의 의미 및 역할, 해당 개념의 특성과 타 기술과의 관련성에 대해 상세하게 기술하였다.

제 1 절 디지털트윈의 의미 및 역할

제 1 항 디지털트윈의 정의

산업현장에서의 생산성, 경제성, 안전성을 향상시키고자 하는 요구의 확산에 의해 디지털트윈이 주목 받고 있다. 디지털트윈은 제품, 프로세스, 시스템 등 실시간으로 동작하는 물리적 객체에 대해 컴퓨터에서 논리적으로 동작하는 가상의 쌍둥이라고 정의하는 것이 명료하고도 가장 쉽게 이해할 수 있다고 판단된다. 다른 정의로는 실제 세계(Physical World)를 디지털 세계(Digital World)로의 복제[5], 다양한 물리적 시스템의 구조, 맥락, 작동을 나타내는 데이터와 정보의 조합[6][6], 수명주기 전체에 걸쳐 대상 객체 요소들의 속성/상태를 유지하며 이들이 어떻게 작동하는지의 동적 성질을 묘사하는 가상의 모델[1], 제너럴 일렉트로닉스(GE)의 경우 데이터 모델(data model)과 분석(analysis), 지식베이스(Knowledge base)가 합쳐진 것을 디지털트윈으로 정의[7]하기도 하였다. 디지털트윈이 주목 받게 된 것은 사물인터넷과 인공지능의 기술 활용이 훨씬 유용하게 반영될 수 있는 환경에 접하게 되었기 때문에 기존 활용 중이던 공학 시뮬레이션과의 연계로부터 가능하게 된 것이다.



Figure 3. 디지털트윈 개념(출처: Mentor, a Siemens business)[8]

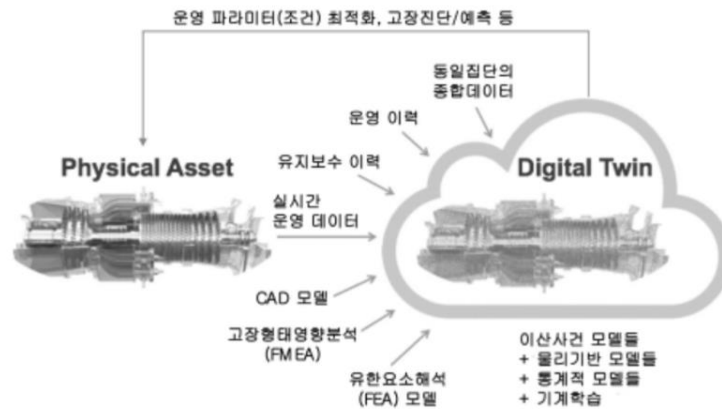


Figure 4. 디지털트윈을 위한 물리모델과 가상모델의 관계[1]

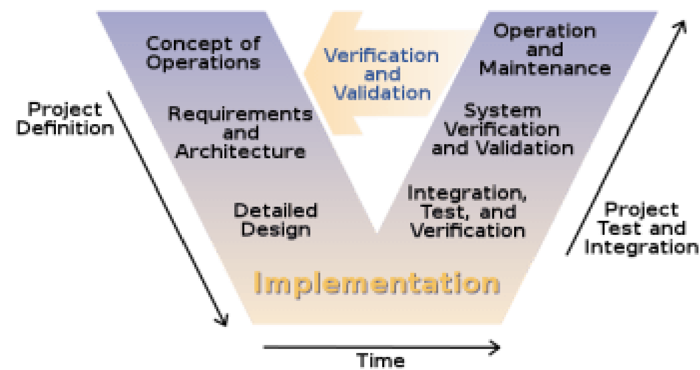


Figure 5. 디지털트윈 절차(출처: 위키피디아)

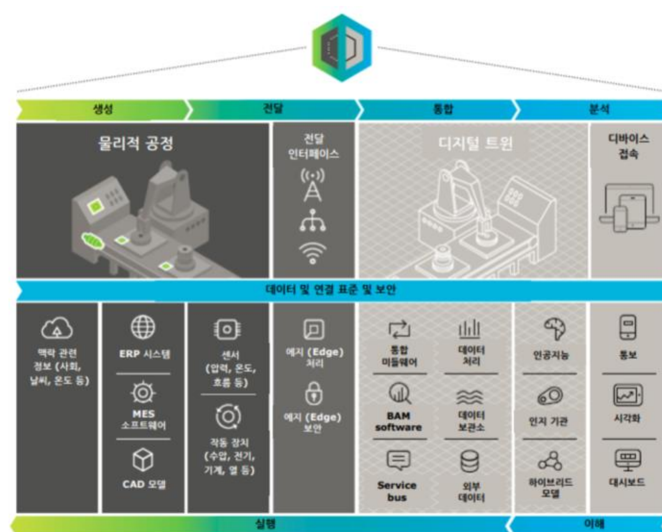


Figure 6. 제조과정에서의 상세 디지털트윈 모델(출처: Deloitte University Press)

제 2 항 구성 형태 및 동작

디지털트윈의 물리적인 객체는 제품, 프로세스, 시스템 등의 유형별로 구분할 수 있어서 제품 트윈(Product twin), 프로세스 트윈(Process twin), 시스템 트윈(System twin)으로 나눌 수 있게 된다. 그 중에서도 제품 트윈에 있어서는 고정밀 시뮬레이션이 요구되어 디지털트윈의 성능에 미치는 영향이 클 것으로 판단된다. 이를 통해서만이 완전한 디지털트윈으로 바라볼 수 있게 될 것이다.

디지털트윈의 요소를 살펴보기 위해서 3차원과 5차원의 디지털트윈 모델로 각각 정의해 볼 수 있다. 우선 3차원 디지털트윈은 물리적 객체와 가상적 객체, 그리고 이 둘을 엮는 데이터 및 정보의 연결 기능을 하나로 하는 총 세 가지 구성 요소로 이뤄져 있다. 다음으로 5차원 개념 모델은 3차원 개념 모델에서의 데이터 및 정보의 연결 기능에 대해 서비스(Service), 디지털트윈 데이터(DT Data), 연결(Connection)로 좀 더 상세화 시킨 것으로 확대해 볼 수 있다.

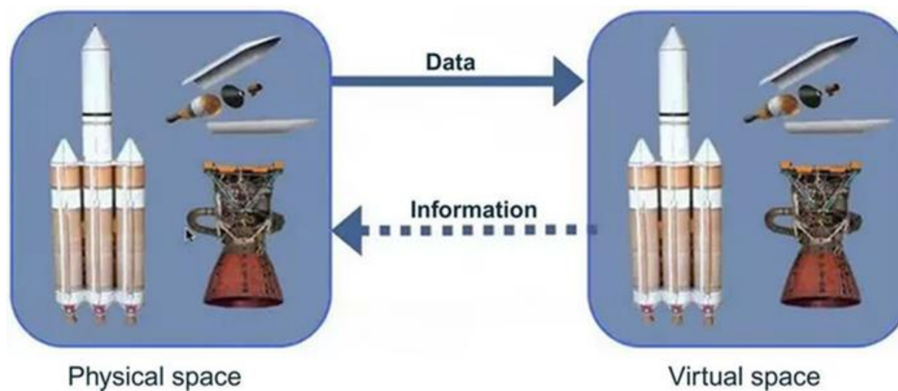


Figure 7. 3차원 디지털트윈 모델[9]

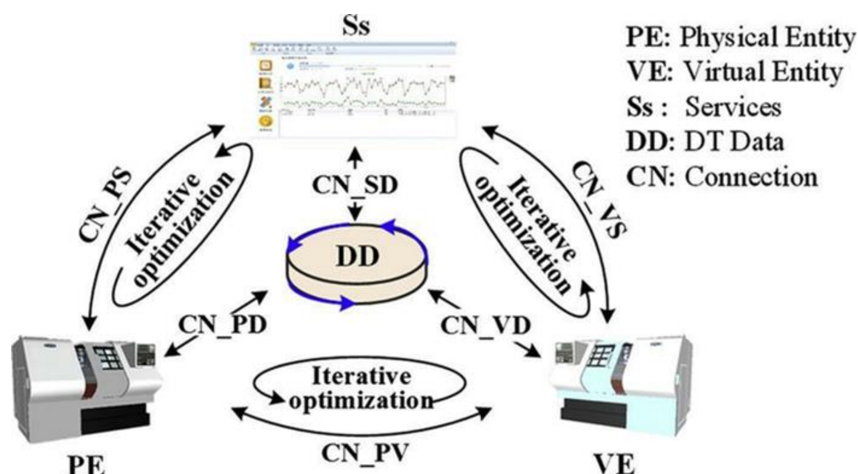


Figure 8. 5차원 디지털트윈 모델[9]

5차원 디지털트윈 모델을 수식으로 나타내면 다음과 같다.[9]

$$M_{DT} = (PE, VE, S_S, DD, CN) \quad (1)$$

위 수식에서 가상적 객체(VE)는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathrm{VE} = (G_v, P_v, B_v, R_v) \quad (2)$$

여기에서, Gv는 물리적 객체의 형상 파라미터(Geometric parameters of PE), 3D 캐드(CAD) 데이터이다. Pv는 CAE 데이터 물성치(Physical properties), Bv는 객체 행동(Behaviors of entity), Rv는 법칙(Rules)에 해당된다.

디지털트윈의 동작은 물리적 객체(제품/서비스/프로세스)로부터 실시간 데이터를 받으며 시뮬레이션을 통해 물리적 객체와 동일하게 반응하는 것으로 제조 공정 트윈에 대한 예시의 경우 다음 그림에서와 같은 동작으로 설명할 수 있을 것이다.

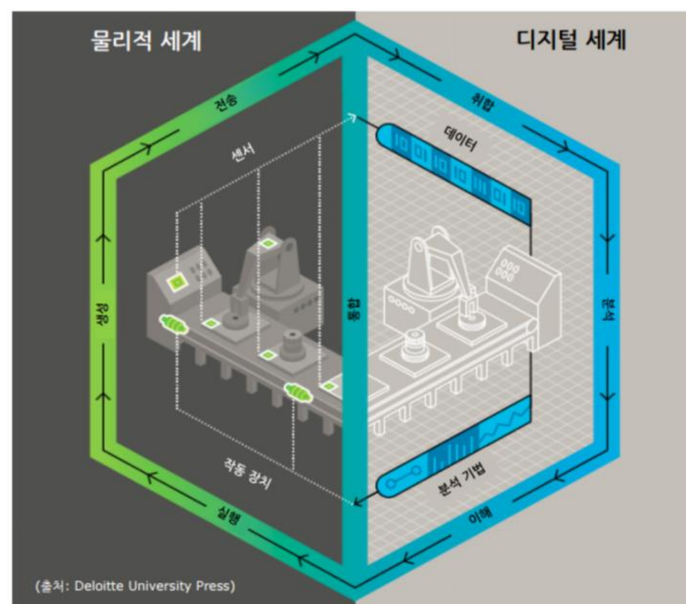


Figure 9. 제조 프로세스 상의 디지털트윈 동작(출처: Deloitte University Press)

이러한 디지털트윈은 물리 모델이 가상 모델과의 지속적인 소통을 통하게 되어 의사 결정 과정에 있어 중요한 역할을 담당하게 되는 것이다. 즉, 디지털트윈의 궁극적인 목표는 실시간 연결을 통한 상황 파악을 넘어서는 최적화 되는 물리 모델을 확보하는 것으로 시뮬레이션을 통한 물리 모델의 예측이 무엇보다도 중요하게 된다. 최적화 해석 기술뿐 만 아니라 최근 머신 러닝(Machine learning)을 포함한 인공지능 기술의 발전에 힘입어 디지털트윈이 지향하는 방향에 보다 더 힘을 실어주고 있는 상황이다.

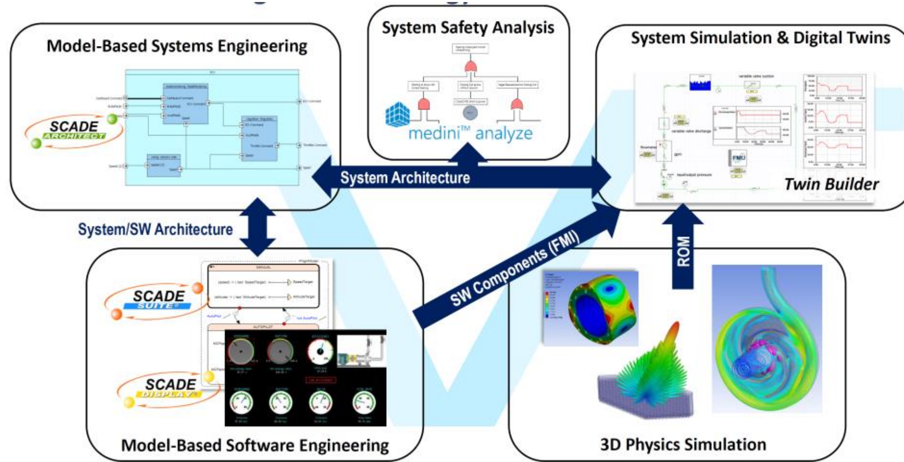


Figure 10. 디지털트윈 예시[10]

제 3 항 디지털트윈의 역할

과학기술 종사자뿐 만이 아니라 일반인들도 쉽게 이해할 수 있는 디지털트윈의 용어로 인해 과학기술이 대중에게 친밀하게 접근하는데 디지털트윈이 중요한 역할을 담당했다고 봐도 무리가 아니다. 디지털트윈은 설계-제조-서비스를 포함한 전체 제품 주기에 대한 과거와 현재의 실시간 모니터링으로 해당 운용 상태를 이해하고 미래를 예측할 수 있는 인터페이스라고 말할 수 있다. 이에 따라 자동차 설계, 생산 현장 로봇 점검, 항공기 엔진 성능 확인, 공장 설비 준비 등에 가장 뛰어난 도구로 활용이 가능하다. 산업용 사물인터넷(IIoT) 연결 플랫폼을 통해 수집된 데이터와 결합해 시뮬레이션 및 인공지능을 활용하여 물리적 객체에서 발생할 수 있는 문제의 사전 예측 및 대처와 함께 최적의 운영 조건도 제시할 수 있어 산업 자산에 대한 불필요한 유지보수 비용을 크게 낮춰 제품 개발을 위한 내실화를 갖출 수 있는 역할도 수행한다. 그리고 제품 출시 시간 단축, 유연 생산, 품질 개선, 효율성 향상' 4가지 항목이 확보 가능함에 따라 기업의 자산으로서 비즈니스 전 과정에서의 의사결정에 기여할 수도 있다.6 장비나 자산의 수명주기 동안 더 좋은 사업적 성과를 도출하기 위해 디지털트윈은 장비가 어떻게 작동하는지 이해할 수 있게 해주고, 산업이 어떻게 운용되어야 하는지 그 방안까지 제시하게 되는 것이다. 과거에는 단순히 디지털 사물로 바꾼 비물질화 과정만이 이뤄졌다면 현재는 디지털트윈으로 사물의 디지털화로 사라지지 않고 동작하게 할 수 있다는 점이 큰 역할이다. 이에 따라 디지털트윈은 기존 제조 제품에서뿐만 아니라 스마트 팩토리, 스마트 국방, 스마트 도시 등의 산업 전반에 걸쳐 지속적인 활용 확대가 이뤄지고 있는 것이다.

디지털트윈의 역할은 쉽게 보면 영화 킹스맨에서 알 수 있듯이 3D로 구현된 인물과 화상 회의를 진행하는 것으로 설명할 수 있겠다. 또한 아이언맨에서도 가상의 슈트 모델을 활용해 실제 물리 환경에 반응하고 예측하여 대응해 갈 수 있도록 하는 모습에서도 확인할 수 있다.



Figure 11. 아이언맨

그렇다면 가상의 세계만을 다룰 수 있는 게임과 비교해 보고자 한다. 게임은 사용자에게 즐거움을 주기 위한 용도의 가상 시뮬레이션인 반면 디지털트윈은 현실 그대로를 본뜬 가상 시뮬레이션이므로 차이가 있다. 도시 건설 및 운영의 시뮬레이션인 심시티가 가상의 도시환경을 만들고 운영하는 방식에 따라 도시의 흥망이 정해질 수 있는 가상의 환경 시뮬레이션이긴 하지만 실제 도시의 환경에 적용시킬 수 있는 중요한 역할을 하게 된다. 이에 따라 1995년 노스플로리다 대학교가 수업에 이 심시티를 사용하기도 하였다. 마이크로소프트(MS)는 AIx를 통해 마인크래프트라는 게임의 배경을 현실과 유사하게 구현해 인공지능이 해당 공간에서 학습할 수 있도록 한 것도 디지털트윈으로의 활용 가능성에 의미를 부여할 수 있을 것이다. 이 밖에 팔콘 4.0의 비행기 시뮬레이션 게임은 실제 비행기 조정 환경과 유사하게 구현되어 있어 비행기 훈련이 가능하도록 지원되기도 하였다.



Figure 12. 마인크래프트의 가상 공간(출처: ob Max Pixel)

제 2 절 디지털트윈 특성

제 1 항 양방향성

디지털트윈이 제대로 동작하기 위해서는 실제 세계와 가상 세계가 상호 작용해야만 한다. 다시 말하면 두 세계가 항상 동기화(sync)되어 있어야 하는 것이다. 이는 가상 모델을 통해 유지 관련 문제를 최소화 하는 최상의 생산 및 운영 효과를 얻을 수 있게도 해 준다.

제 2 항 기술이 아닌 모델

디지털트윈은 3D 시뮬레이션, 사물인터넷, 4G/5G, 빅데이터, 블럭체인, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 인공지능 기술 등 다양한 기술을 통해 종합적인 활용을 가능하게 하는 지능형 시뮬레이션 기반 모델이다. 물리 이론대로 구동하는 기반 시스템을 작동시키고 시뮬레이션을 할 수 있는 완전한 디지털 모델 또는 현재의 모사가 이뤄지는 소프트웨어 모델(Software-defined model)로 볼 수 있다. 또한 제품에 생명력을 불어 넣어주고 연장하게 해 주는 기능을 제시해 주어 제조와 소프트웨어가 결합한 융합(Convergence) 모델이며 소프트웨어 정의 사회(Software-defined Society)화의 핵심 사례로 부상하게 되었다.[11]

제 3 항 시뮬레이션이 핵심 기술

디지털트윈의 운용을 위해서는 시뮬레이션 기반으로 가시화 환경 구현과 사물인터넷 등의 물리적 객체와의 연동 수단 등이 함께 주요한 역할을 담당해 주어야 한다. 무엇보다도 디지털트윈이 제대로 완성되기 위해서는 가상의 모델을 만들고 필수적으로 실시간 시뮬레이션으로 그 결과가 물리 개체와 가상 객체 사이에서 공유되어 활용해야만 한다.[12] 이와 관련해 각 산업 분야별 디지털트윈의 핵심 기반이 되는 공학 시뮬레이션은 4장에서 상세하게 다루었다.

제 4 항 가상모델의 디지털 페어 용어 적응

제너럴 일렉트로닉스에 의해 활성화 된 디지털트윈이라는 용어에서 우리가 말하는 쌍둥이 의미의 트윈이라는 단어는 사람 등 동물이 태어나면서부터 독립적 객체로 행동 하기 때문에 물리 모델과 가상 모델이 동시에 같은 행동을 할 수는 없는 것이다. 이에 따라 혹자는 실시간 항상 상호 일치한 결과여야 한다는 페어(pair)라는 용어가 트윈보다 더 적절할 수 있다는 의견을 제시[13]하기도 하였다. 디지털트윈은 동시 동작에 의해 의미를 반영되어야 하므로 단순 과거 데이터를 기반으로 복제 이후 독립적으로 움직일 수 있는 쌍둥이로 보아서는 안 된다는 것이 맞아 보인다. 그렇더라도 일반적으로 우리에게 친밀한 용어인 디지털트윈이 지닌 그대로의 의미보다는 내재된 의미만으로도 누구나 쉽게 이해할 수 있는 가장 이상적인 개념 활용 용어라고 판단된다.

제 3 절 주변 기술 관련성

제 1 항 사이버 물리 시스템

사이버 물리 시스템(CPS; Cyber-Physical System, 이하 CPS)은 2006년 처음으로 헬렌 질(Helen Gill) 박사가 미국 국립과학재단 근무 당시 만든 신조어로[14] 2008년도에는 미국 국립과학재단에서 사이버 물리 시스템의 개념도를 제시하기도 하였다. 기존 임베디드 시스템의 미래지향적이고 발전적인 형태로 이해할 수 있으며, 최근 미래 기술 및 산업 동향과 도전 과제에 대한 최신 논의에 항상 등장하는 개념이 되었다. 특히 디지털트윈과의 개념적 모호성으로 인해 자주 회자되어 그 정확한 의미를 알고 있어야 할 필요성이 있게 되었다. CPS는 대규모 센서/엑츄에이터를 가지는 물리적 요소와 이를 실시간으로 제어하는 컴퓨팅 요소가 결합된 복합시스템(System of Systems)[15] 이라고 설명된다. 또한 물리적 공간인 사물인터넷과 인공지능을 기반으로 디지털화되고 네트워크로 연결되어 물리적 세계와 사이버세계가 하나로 통합된 시스템이며 피드백 시스템으로 불리기도 한다.[16] 이러한 CPS가 달성하고자 하는 궁극적인 목표는 복잡한 물리 시스템을 단순화시켜 고장에 강하며, 쉽게 제어할 수 있도록 하는 컴퓨팅 기술을 개발하는 것이라고 말하기도 한다.[15]

CPS는 우리가 살아가는 물리 세계와 사이버 세계와의 융합을 추구하는 새로운 패러다임임을 알 수 있다. 따라서 다양한 물리시스템과 컴퓨터 간의 매우 복잡한 상호작용이 있는 연산(Computation), 통신(Communication), 제어(Control)가 융합된 복합 시스템으로 실시간성, 지능화, 적응성 및 예측성, 연결성 등의 특징이 있다. 이를 어떻게 설계, 분석하여 원하는 성능을 지닐 수 있게 하느냐가 매우 중요하다.[17]



Figure 13. CPS의 개념도[18]

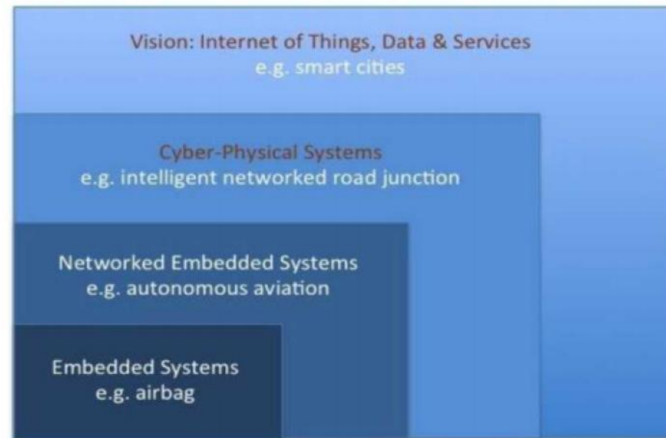


Figure 14. CPS 개념 관계(출처: NGC Study 2013, EUTEMA)

CPS와 디지털트윈 관계

CPS가 가상과 현실의 데이터를 공유할 수 있게 하는 개념화 방법이라면, 디지털트윈은 CPS에 더 나아가서 현실에서 받은 데이터를 가상으로 똑같이 구현하는 개념으로 보면 맞을 것이다. 즉, 디지털트윈이 CPS의 고급형 기술 유형[1], 즉 CPS의 완전체로 볼 수 있을 것이다. 또한 2019년 1월 21일 코엑스 컨퍼런스룸에서 '한국경제 혁신성장, ICT에서 답을 찾다'를 주제로 ICT정책포럼에서 디지털트윈을 CPS가 구현한 플랫폼이라는 아주대 왕지남 교수의 의견도 있었다.[19] 특히 제조 산업의 중심에 이러한 CPS가 있게 되며, 디지털트윈이 이를 뒷받침하고 있다고 볼 수 있다.

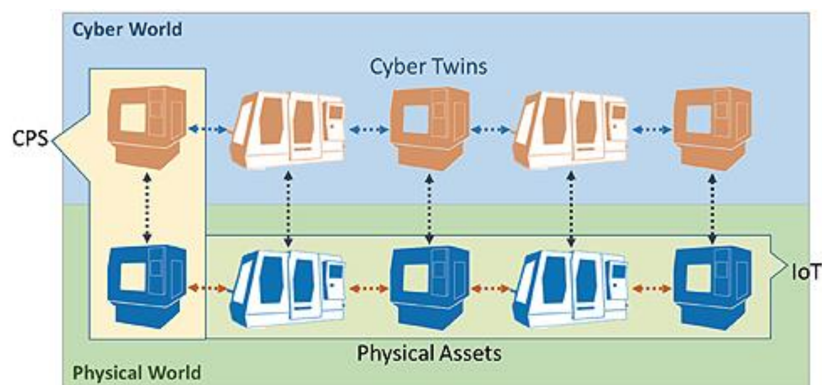


Figure 15. CPS 환경 구조

[1] 데이터/인공지능에 기초한 제어결정 결과에 더해 제어대상 물리 시스템에 대한 디지털 모델을 통해 시뮬레이션으로 제어결과를 미리 판단하는 것 까지를 고려한 최적화 제어를 실행하는 디지털 모델 기반의 CPS[1]

Table 1. CPS와 디지털트윈의 비교[19]

자원	사이버 물리 시스템 (CPS)	디지털트윈
DNV GL blog	스마트 센서, 소프트웨어 및 액추에이터로 모니터링, 제어 및 최적화 할 수 있는 물리적 구성 요소로 구성됨	수명주기 동안 유지되고 언제든지 쉽게 접근 할 수 있는 자산의 가상 이미지로 모든 전문가가 한 데 모여 강력한 분석, 통찰력 및 진단 기능을 제공
IEEE Access	시스템은 컴퓨팅, 통신 및 물리적 시스템의 제어 기능이 분산되고 물리적 장치가 대부분 계산 모듈 (즉, 디지털트윈)의 데이터 소스로 작동	시스템의 현재 컨텍스트를 분석하고 실제 환경에 대한 제어 작업을 권함

CPS와 사물인터넷

앞에서도 언급하였듯이 CPS는 물리적 시스템을 사이버 시스템과 통합하고 제어하여 가치를 창출하는 것이다. 이에 필요한 센서를 활용한 기기 간 연결을 뜻하는 센서라이제이션(sensorization) 기술은 날로 발전하는 추세로 이 중심에 있는 것이 사물인터넷이다. 사물인터넷는 인터넷에 모든 사물이 네트워크로 연결되어 새로운 서비스를 제공하여 사물의 디지털화를 수행하는 것이다. 더욱이 산업용 사물인터넷에서 발전해 스마트센서와 애널리틱스를 결합해 새로운 전략을 만들어 내고 있는 것을 산업용 사물인터넷이라고 부르고 있다.[20] 빅데이터나 클라우드, 대용량 중앙처리장치(CPU) 부문의 발전이 모두 산업용 사물인터넷의 기반이 된다.[21]

CPS와 사물인터넷 모두 센서를 기반으로 장치 혹은 물리 시스템들을 네트워크로 연결하는 측면에서는 동일한 개념으로 볼 수 있다. 그렇지만 사물인터넷은 다양한 물리 시스템들의 연결성에 주목하는 반면 CPS는 단순한 연결성을 뛰어넘어 어떻게 물리 시스템을 높은 신뢰성을 가지고 실시간으로 제어할 수 있는지에 주목한다는 점에서 뚜렷한 차이가 있다.[22]

스마트 팩토리

ICT기술을 기반으로 제조 전 과정을 자동화•지능화하여 최소의 비용 및 시간으로 최적화 제품을 생산하는 미래형 공장을 일컬어 스마트 팩토리라고 말할 수 있다. 스마트 팩토리는 2006년 6월 카이저스라우테른에서 해당 기술계획이 수립되면서 소개되었고, 2011년 독일 정보에서 인더스트리 4.0을 주창하면서 이의 근간으로 사용되고 있다. 스마트 팩토리는 공장 내 설비와 기계에 설치된 센서를 통해 데이터가 실시간으로 수집•분석되어 공장 내 모든 상황들이 일목요연하게 보여지고, 이를 분석해 목적된 바에 따라 스스로 제어할 수 있게 된다. 스마트 팩토리의 핵심 기술이 CPS라고 할 수 있고 더 나아가서는 디지털트윈으로 발전되는 것이다. 공장을 운영하면서 발생한

데이터만을 분석해 최적의 방안을 찾을 수 있는 공장 자동화 대신 생산 라인 가동과 근로자 배치 등을 어떻게 설정할 때 생산성이 가장 높은지 시스템 트윈의 디지털트윈을 활용하면 미리 발생 가능한 시나리오에 대비할 수 있게 되는 것이다. 지멘스에서는 디지털트윈을 스마트 팩토리에 적용할 때 얻게 되는 장점으로 5단계인 'Design-Planning-Engineering-Execution-Service'으로 말하기도 하였다.

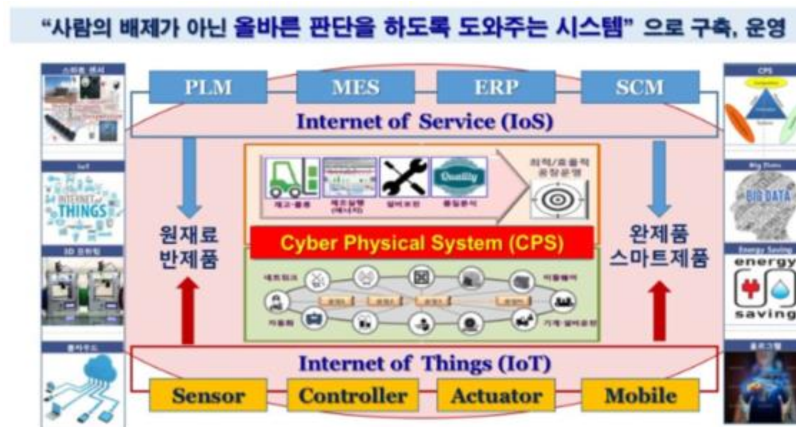


Figure 16. 스마트팩토리 운영 관리 시스템 프레임워크[23]

제 2 항 디지털 쓰레드

디지털 쓰레드(Digital thread)는 전통적인 제조 공정에서 독립적인 요소들을 연결하는 통신 프레임워크로 디지털 제조 환경에서 제품의 설계, 제조, 판매, 운영 등의 단계에서 발생되는 데이터들의 매끄러운 흐름(활용)을 지원하여 제품의 수명주기 전체에 걸쳐 자산의 통합된 안목을 제공하여 준다. 제품 수명주기 전체에 걸친 디지털 데이터 리포지토리 및 공유·활용 체계라고 생각할 수 있다. 스레드는 설계 모델, 프로세스 및 엔지니어링 데이터, 생산 데이터 및 유지 관리 데이터 등을 비롯한 다양한 정보 시스템뿐만 아니라 제품 체인, 가치 사슬 및 자산 체인의 여러 단계를 거치게 되고, 디지털트윈이 디지털 쓰레드와 결합되면 고품질 미러 및 시뮬레이션을 위해 전체 수명 주기에서 최상의 데이터를 얻을 수 있다.[24]

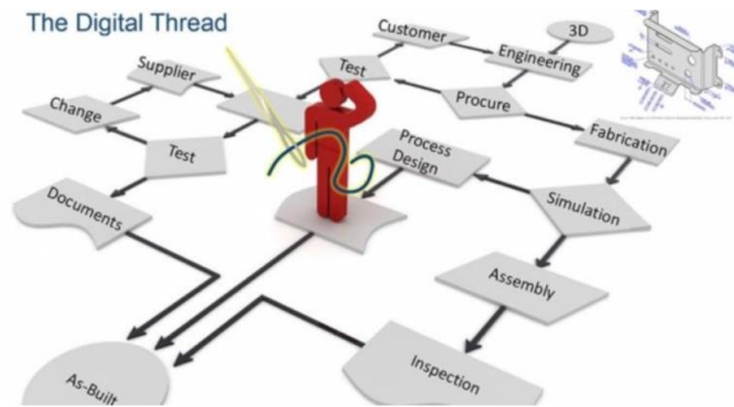


Figure 17 디지털 쓰레드(이미지 출처: https://bit.ly/2ltfwTl)

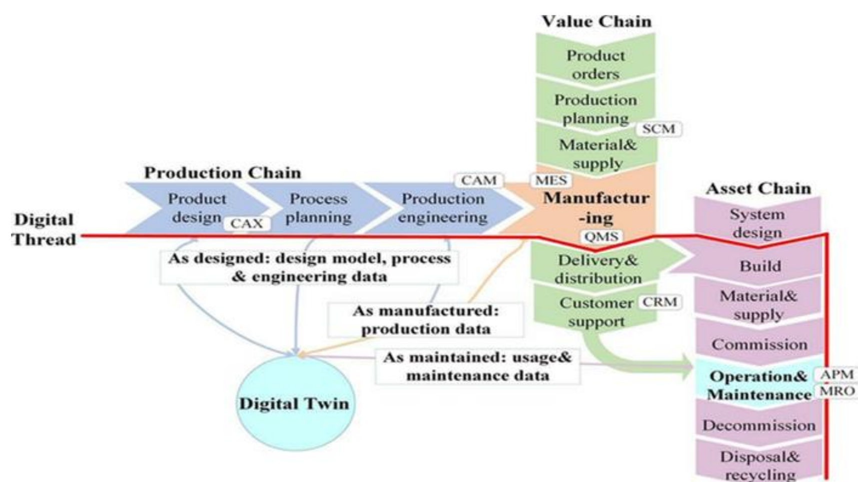


Figure 18. 디지털트윈과 디지털 쓰레드 관계[24]

제 3 항 디지털 쉐도우

디지털 쉐도우(Digital shadow)는 제품의 수명 주기 전반에 걸쳐 생성되는 데이터를 통합 관점으로 데이터의 흐름을 연결하고 추적하고 활용할 수 있게 하는 커뮤니케이션 체계라고 말할 수 있다. 디지털 섀도우의 주된 목적은 보다 지속 가능한 세상을 위해 물리적 자원의 활용과 효율성을 높이기 위한 의사결정을 지원하는 것으로 데이터를 균일하고 효율적으로 통합하고 처리하여 의미 있는 정보를 생성할 수 있도록 한다. 예를 들어 마케팅 부서는 고객의 요구사항을 수집, 개발부서는 제품 규격 및 BOM(Bill of Material)과 3D 캐드 데이터를 생성, 품질부서는 제품 규격 데이터를 기반으로 검사 기준 데이터를 생성, 생산 부서는 검사 기준 데이터를 기반으로 공정 관리 데이터를 생성하게 된다. 각각의 단계 및 부서에서 생성되는 데이터를 통합 관점으로 연결해 관리하고 필요한 데이터를 적시에 적절한 곳에 전달할 수 있는 체계이다.

디지털 쉐도우의 데이터는 흩어지지 않고 단일 전자 문서에 함께 저장되며 전용 소프트웨어 서

비스 또는 소프트웨어 에이전트에 의해 적극적으로 처리된다. 라이프사이클 전반에 걸쳐 해당 엔티티와 결합하고 개인의 모양과 과거, 현재 및 예상 미래 형태를 반영하는 모든 데이터와 지식을 전달하는 데이터 프로필로도 말할 수 있다. 하지만 디지털 위험도 항상 높을 수 있기 때문에 디지털 보안이 중요하게 다루어져야 한다.[25]

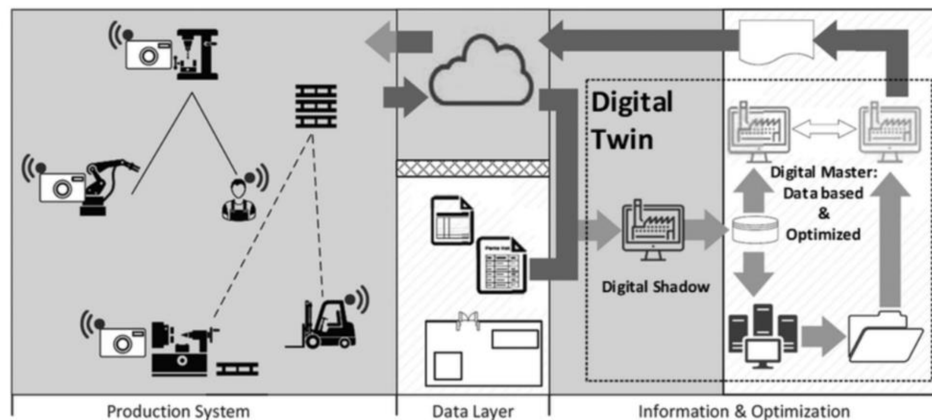


Figure 19. 디지털트윈과 디지털 쉐도우[25]

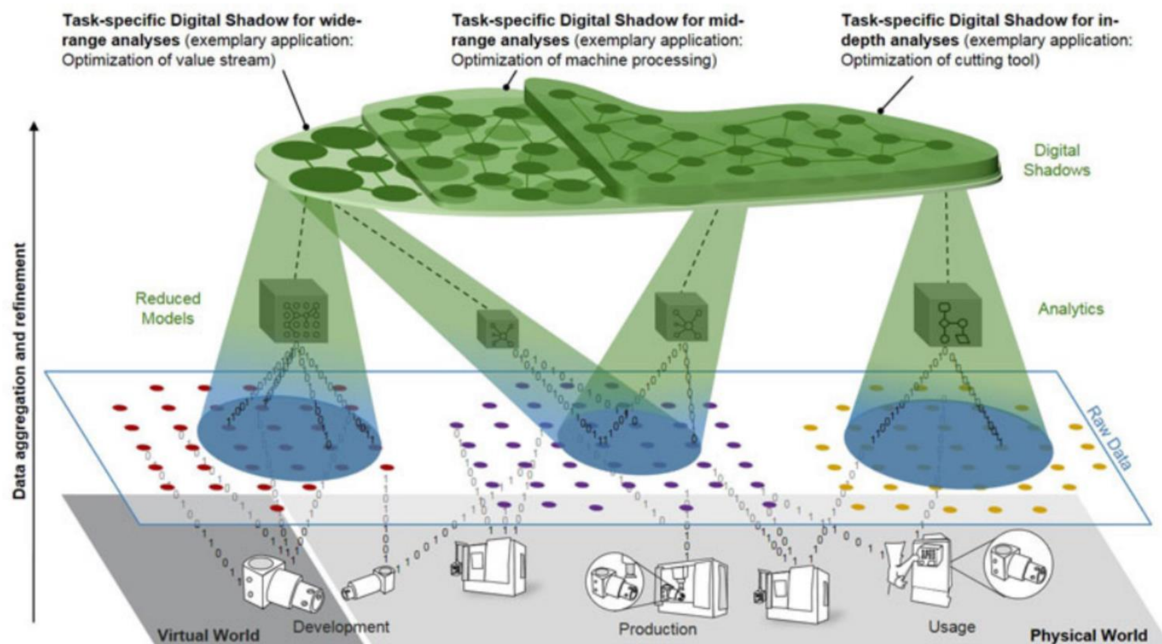


Figure 20. 클라우드 환경에서의 디지털트윈과 디지털 쉐도우[25]

제 3 장 디지털트윈의 발생 및 활용 상황

제 1 절 디지털트윈의 탄생 및 발전

디지털트윈은 1960년대 항공우주 영역에서 시작하여 제조 응용 영역에 전달되었고 이후 전 산업 분야로 확산되었다. 이러한 디지털트윈의 역사 분류는 그림에서와 같이 3단계 혹은 4단계의 분류 기준으로 제시되기도 하였다. 본 장에서는 디지털트윈의 정확한 발현 상황 및 해당 용어의 사용 등 중요한 역사적 시점을 찾아보고 현재의 활용 상황을 정리해 보았다.

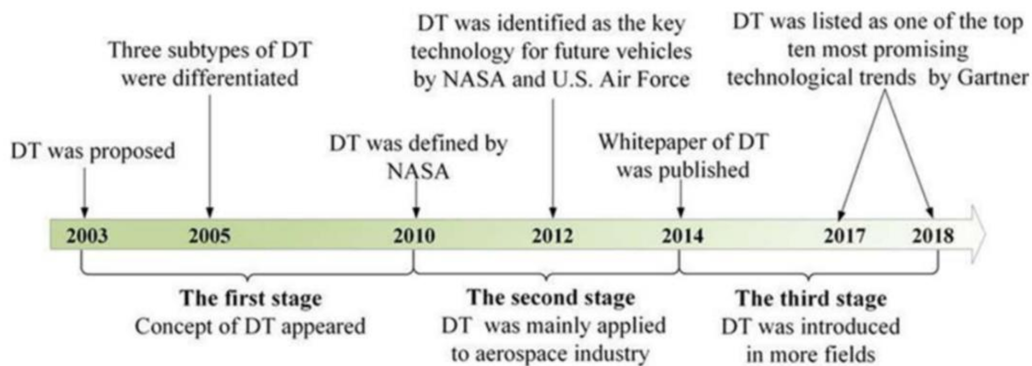


Figure 21. 디지털트윈 역사[25]



Figure 22. 디지털트윈 발전[26]

제 1 항 디지털트윈 개념의 발현

미국의 나사(NASA)와 미국방고등연구기획국(DARPA)에서는 1960년대 공동으로 아폴로 프로그램(Apolo program) 개발을 진행하는 과정에서 엔지니어와 우주비행사가 캡슐에 탑승해 우주에 직접 가지 않고도 지상에서 미리 우주 캡슐의 실물 모형을 디지털 시뮬레이션으로 만들어 테스트할 수 있도록 하였는데, 이것이 미경험 세계를 위한 디지털트윈의 시초로 볼 수 있다. 이는 막대한 비용으로 개발되어야 했던 우주선이 아직 한번도 경험해 보지 않은 실제 우주 공간에서의 미션을 수행하기 전 우주선 체계의 안전과 성능 문제, 시스템 가동과 유지 보수 등의 임무를 사전에 철저하게 점검하기 위해 사용된 것이었다.

제 2 항 디지털트윈 개념 정립

2002년 미국의 마이클 그리브스(Michael Grieves)가 미시간 대학교(University of Michigan)의 PLM 센터(Product Lifecycle Management Center) 개소를 위한 산업체 강의에서 당시 상품 주기 관리를 위한 개념적인 공간(Conceptual Ideal for Product Lifecycle Management)이라는 주제로 디지털트윈과 비슷한 개념을 소개하였다.[27] 해당 개념에서는 세 가지 구성요소를 제시하였는데 실제 공간 물리적 제품, 가상 공간의 가상 제품, 가상-실제 제품간 데이터와 정보의 연결성이었으며 이것이 디지털트윈의 개념을 정리한 최초의 역사적 사건이라고 알려져 있다. 마이클 그리브스는 2003년에도 다시 경영 수업에서 해당 개념을 소개하기도 하여 이 시점에 개념 정립이 이뤄졌다는 혼란스러운 기록들도 보이고는 있다.

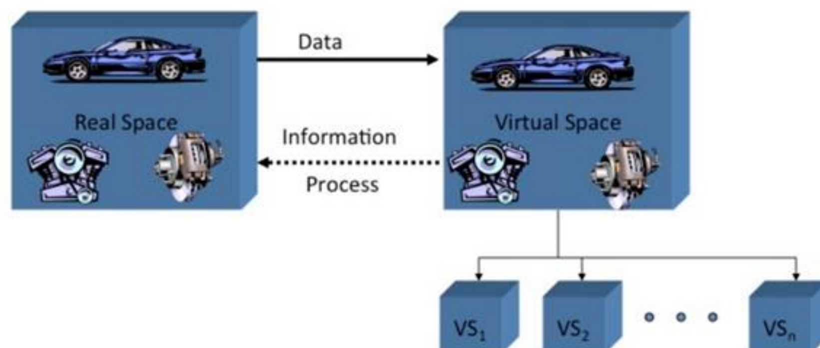


Figure 23. PLM을 위한 개념적 아이디어[28]

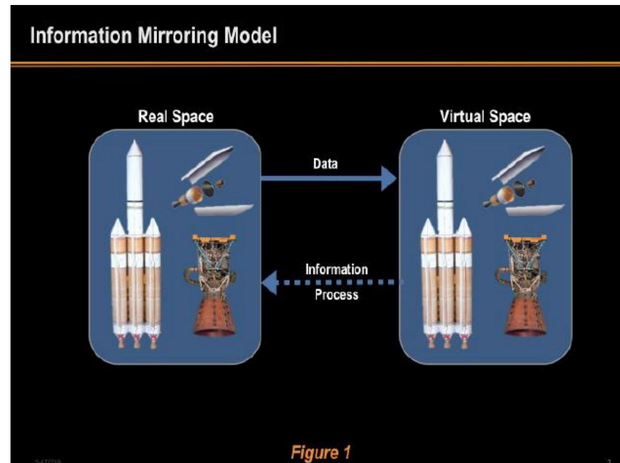


Figure 24. PLM을 위한 개념적 아이디어의 정보 거울 모델[28]

제 3 항 디지털트윈 용어 사용

2010년 미국 항공우주국(NASA)의 모델링, 시뮬레이션, 정보 기술 및 처리 기술 로드맵 최종안 초안에 디지털트윈 단어가 17번이나 언급되면서 해당 용어가 최초 사용되기 시작하였다.[29-30] NASA에서 우주선에 대한 디지털트윈의 상세한 정의를 최고의 물리적 모델, 센서 업데이트, 함대 기록 등을 사용하여 차량 또는 시스템의 통합된 다중 물리학, 다중 스케일 시뮬레이션으로 발표한 것이다.[25] 디지털트윈의 원래 정의의 주된 범위는 확률론, 과거 데이터 및 센서 데이터를 고려하여 다양한 측면과 항공기 시스템을 반영한 일련의 통합 하위 모델로 항공기 수명을 반영하는 것이었다. 이를 NASA 로드맵이 디지털트윈 정의를 위한 독창적인 작업으로 언급하기 시작하였다.[31] 2011년도에 디지털트윈의 용어가 다수 활용되기 시작하였으며, 그 중 논문 제목으로는 E.J. Tuegel[32]이 처음으로 사용하게 되었다.

제 4 항 디지털트윈 활용 단계

디지털트윈의 용어 사용 이후에는 2014년에 미국 플로리다기술연구소(Florida Institute of Technology)의 생애주기 · 혁신경영센터 (Center for Lifecycle and Innovation Management; CLIM)에서 활용하였다. 2015년에는 NASA의 Apollo 프로그램과 Airbus의 Iron bird, Roland Rosen의 활용 등이 있었다.

제 5 항 시장의 주목

2016년 제너럴 일렉트로닉스가 처음 솔루션 명칭으로 사용하면서 활성화 시킨 다음 시장에서도 주목하기 시작하였다. 2016년 페이스북은 자체 개발한 인공지능 토치(Torch)가 물리법칙을 학습할 수 있게 실제 물리 법칙과 유사한 가상 환경을 구현하였는데, 디지털트윈으로 인공지능의

무제한 시뮬레이션 환경이 제공하는 것이 가능하게 된 것이다. 이는 인공지능의 잠재 능력을 끌어내는데 큰 역할을 하였으며 미래 혁신을 이끄는 원동력이 될 전망으로도 소개되었다. 또한 IT컨설팅 전문업체 가트너가 "2017년 10대 주요 전략적 기술 동향" 중 하나로 소개하면서 본격적으로 주목 받기 시작하였다. 여기에서 '인텔리전트 디지털 메시 (Intelligent Digital Mesh)'의 구현을 위한 준비 기술 중 디지털트윈이 제시되었고 이러한 트렌드는 2019년까지 본격적으로 확산되었다. 가트너가 전략 기술로 선정한 것으로는 사물인터넷 센서의 폭발적인 증가로 인해 디지털트윈이 여러 분야로 확산될 것으로 본 것이다. 가트너는 디지털트윈 모델을 2017년도에 기대 영역으로 제시한 이후 2018년도에는 가장 기대가 큰 영역에 위치시켜 놓았으며, 이후 2019년도에는 하이프 사이클(Hype cycle)에서는 사라지고 전략기술로 소개하고 있어 활성화 단계에 접근했음을 알 수 있다.



Figure 25. 10대 전략 기술 동향(출처: 가트너, 2017)

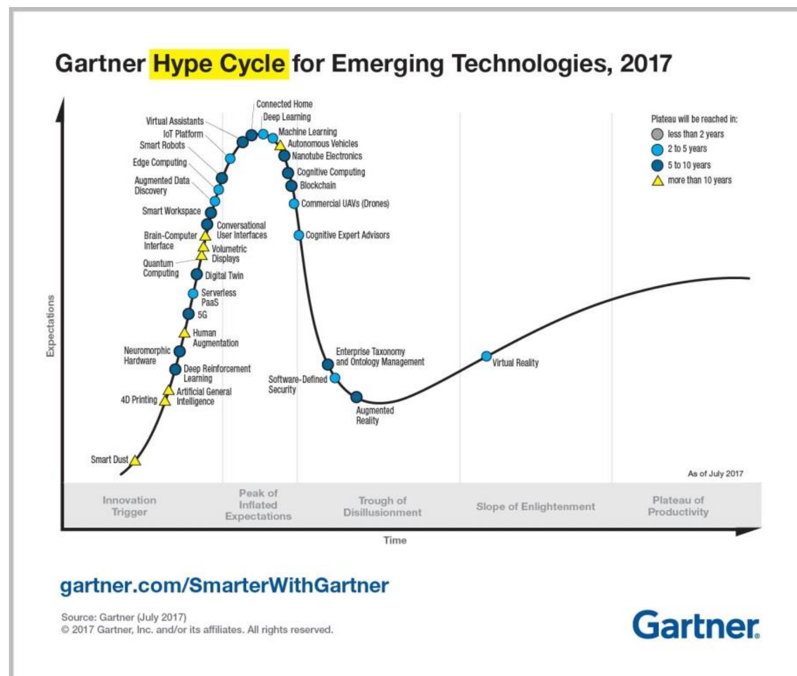


Figure 26. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2017)

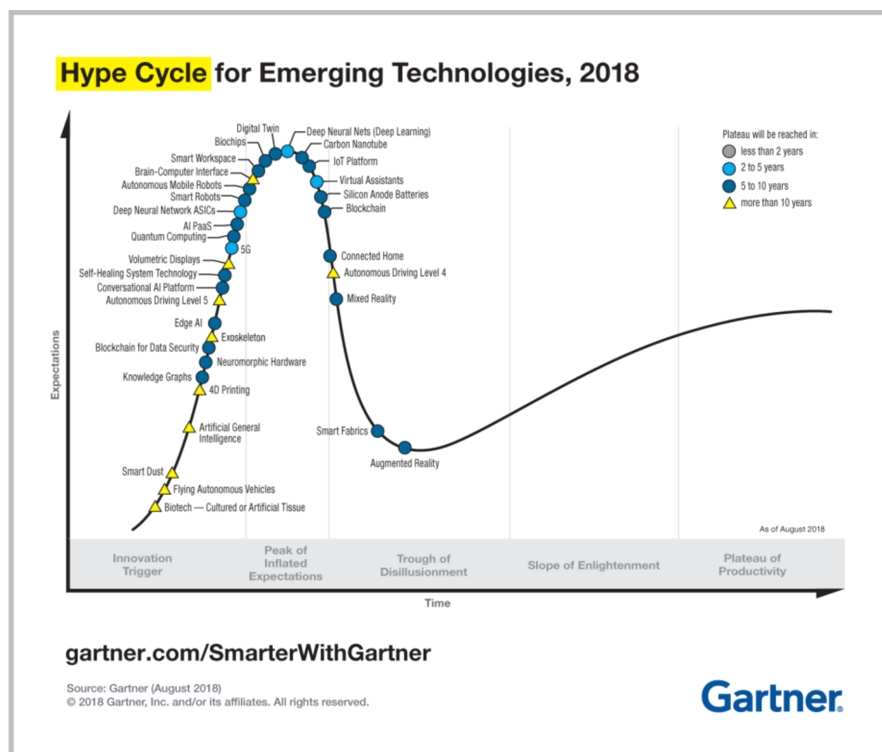


Figure 27. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2018)

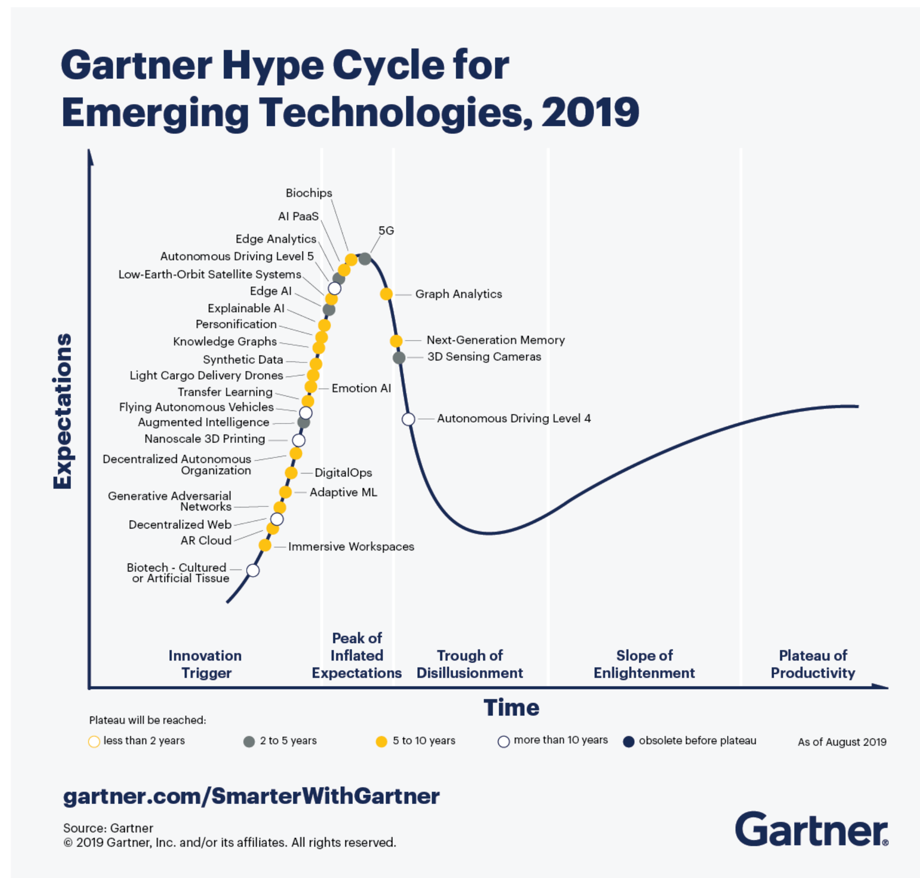


Figure 28. 출현 기술을 위한 하프 사이클(출처: Gartner, 2019)

또한 IOT ANALYTICS에서는 2019년 4월에 있었던 독일 하노버 전시에서 나타난 동향 분석에서 디지털트윈을 13번째에 중요 기술로 이름을 올렸으며, 2019년에는 2018년 대비 2번째로 긍정 변화인 기술 트랜드로 자리잡았음을 확인시켜 주기도 하였다.

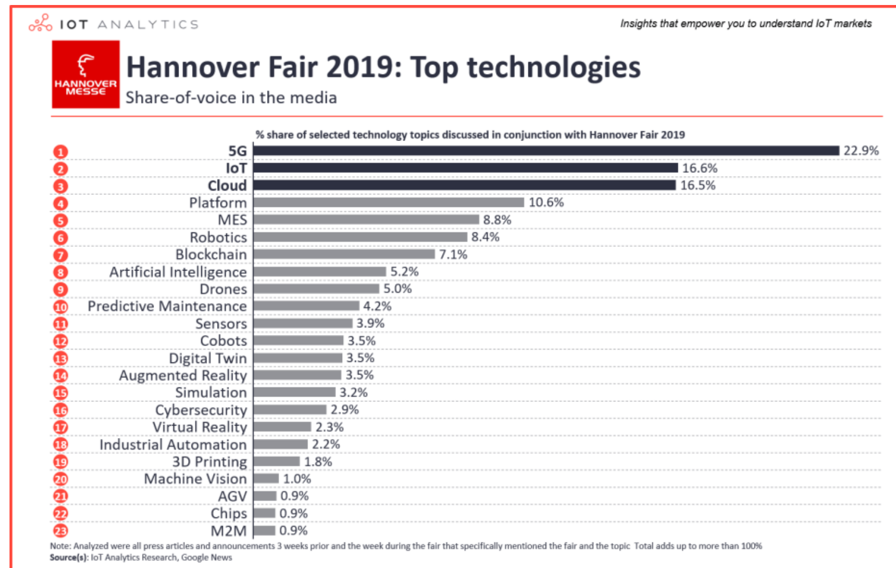


Figure 29. 최고 기술-Hannover Fair 2019(출처: IOT ANALYTICS)

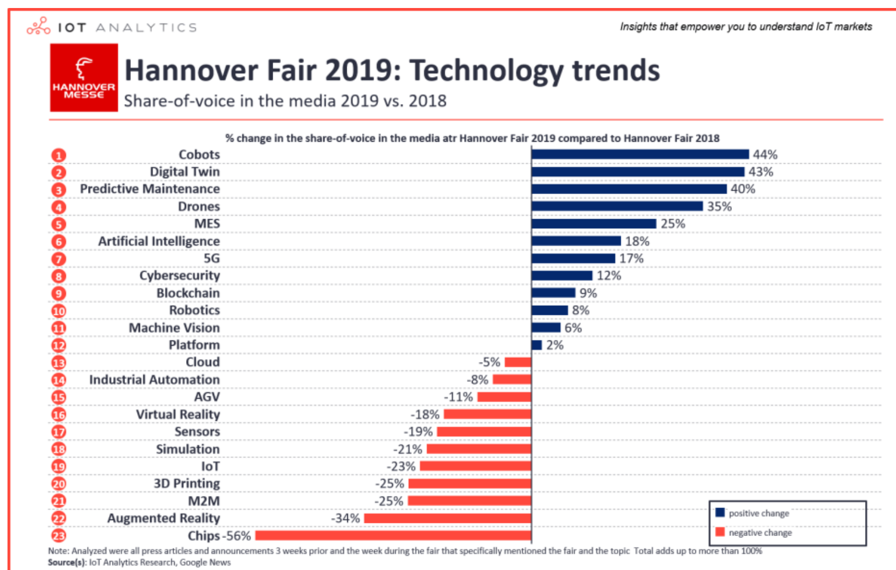


Figure 30. 기술 동향-Hannover Fair 2019(출처: IOT ANALYTICS)

제 6 항 현재 상황

현재 많은 보도 매체에서 회자되고 있는 디지털트윈이 사물인터넷, 빅데이터 및 인공지능 기술만으로도 충분히 실현될 수 있다는 인식이 확산되어 있다. 즉, 고정밀 시뮬레이션 기반이 핵심인 제품 영향 문제를 다루는 제품 트윈과는 다르게 공장, 스마트 시티 등의 시뮬레이션 평가가 대체적으로 시스템 트윈 또는 공정 트윈의 간편한 산업 분야의 활용에 대해 훨씬 쉽고 빠르게 전파되고 있는 상황이다. 디지털트윈의 주요 업체들(GE, Dassault, PTC, Ansys, Siemens, SAP, Sight Machine,

TIBCO Software, AT&T, Infosys, TwinThread, Prodea System, Cosmo Company Sas, Autodesk, SimScale, DIGITAL TWIN, Concirrus, Computer Science Corporation, Bosch, Caterpillar, KOMATSU, etc)이 전 산업에서 디지털트윈이 활용되도록 분위기를 조성해 놓고 있다. 이러한 외국 기업이 디지털트윈 시장을 대체로 잠식하고 있는 심각한 상태에 있어 국내 업체의 경우는 아직 제대로 해당 분야에 뛰어들지 못하고 있는 실정이다.[1] 제너럴 일렉트로닉스와 같이 기계, 장비, 설비 등 하드웨어 부문의 선도업체들이 ICT 기술접목으로 디지털 변혁의 선도업체로 변신, 하드웨어 제작에서 소프트웨어 제작의 연결 기업으로 성장하고 있다. 또한 앤시스(ANSYS)나 다쏘시스템(Dassault System) 등의 3D CAD/CAE 부문의 선도업체들도 사물인터넷, 시뮬레이션 기술 등의 융합을 통해 디지털트윈 솔루션 시장에서 경쟁하고 있는 상황이다.

디지털트윈은 중공업 관련 산업에서 활발하게 적용되고 있다. 전기전자/기계, 항공/국방, 자동차, 에너지 등 이른바 중공업 관련 산업 비중이 80%에 달하고 있는 것이다. 제품의 단가가 비싸고, 구조/설계가 복잡하며, 사용 기간이 길고, 운용 점검이 어려우며, 지속적인 유지보수가 필요한 제품을 생산하는 산업에서 상대적으로 높게 나타난다.5 또한 항공기 엔진 및 발전기 제조 분야의 세계적인 선도 업체들이 자사 제품에 대한 디지털트윈 제작의 경험/노하우를 바탕으로 디지털트윈 관련 기술 및 플랫폼 솔루션 분야에서도 시장을 확대하고 있다.[1]

독일 엔지니어링 회사인 지멘스(SIEMENS)는 이미 알려진 바와 같이 독일 암벡(Amberg) 공장에 디지털트윈 기술을 적용하며 혁신을 지속하고 있는 중으로 공장의 디지털화, 스마트를 위해 필수적인 센서단에서부터 컨트롤러, 스카다(SCADA), MES 등을 모두 갖추고 있어서 수요 기업이 필요로 하는 부분을 컨설팅에서부터 하드웨어, 소프트웨어까지 모든 부분에서 수용이 가능하도록 갖추고 있는 상황이다. 다쏘시스템의 델미아로는 인도네시아 빠당빠리아만시, 중국 광저우시 등 세계 각국 도시에 디지털트윈 도시화 사업을 진행하고 있다. 2015년부터 싱가포르 '버추얼 싱가포르' 프로젝트를 진행해 도시 디지털화를 완료하고 현재는 지하철, 배수관, 케이블선 등을 포함한 지하 디지털화 프로젝트를 추진하고 있다.

항공기 업계의 테슬라로 불리는 이스라엘 스타트업 이비에이션에어크래프트는 2019년 6월 파리 에어쇼에서 최초로 선보인 9인승 전기비행기 '앨리스' 설계과정에 디지털트윈 기술을 활용했다. 앨리스는 혁신적이고 친환경적인 100% 전기 비행기로 타임지 선정 2019 최고의 발명품으로 이름을 올리기도 했다.[33] 유럽의 H2020 프로젝트인 마야(MAYA)의 경우 CPS기반의 공장을 위해 디지털트윈의 연구를 추진하고 있다. 중국의 경우 중상산업연구원(中商产业研究院)이 발표한 <2019-2024년 중국 스마트 제조 시장 전망 및 투자기회 연구 보고서>에 중국 스마트 제조 10대 트렌드 중 디지털트윈 기술이 포함되어 자동차 및 컴퓨터, 통신, 소비자 전자제품에 해당 기술이 확산될 것으로 예상하고 있다.[34] 중국 시장은 '중국 제조 2025' 추진으로 스마트 제조산업이 빠르게 성장하고 있어 디지털트윈을 포함한 다양한 신기술 도입과 산업 발전에 큰 영향을 미칠 전망이다.[34]

국내의 경우 ICT 선진국으로서 여러 업체/기관에서 디지털트윈 제작 및 운용에 필요한 기본적인 소프트웨어 및 하드웨어는 다수 보유하고 있으나, 특정 부분에 특화되어 있으며 제품의 수명

주기 전체를 아우르는 디지털트윈의 통합솔루션은 부재한 실정이다.1 즉, 디지털트윈과 연계한 최적화, 수명예측, 예지정비 등을 위한 국내의 응용 소프트웨어 역량이 매우 미흡한 수준으로 판단된다. 현재 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능(머신러닝) 등 디지털트윈의 요소기술 관련 프레임워크 또는 플랫폼 도구의 연구개발 노력이 활발히 진행되고 있다. 그러나 요소기술 관련 역량을 디지털트윈 제작/운용을 위한 통합기술로의 융합 활용사례는 찾아보기 어렵다. CAD/CAE 및 시뮬레이션 기술/솔루션 분야에 상당한 역량을 보유하고 있으나 핵심기술 부분은 외국 글로벌 기업의 기술에 많이 의존하고 있는 편이다. 우리나라의 경우 지멘스에 의해 안산에 위치한 스마트제조혁신센터에 지멘스 디지털트윈 기술을 적용 중으로 클라우드 기반의 사물인터넷용 운영체제(OS) '마인드 스피어(MindSphere)'가 활용되는 수준이다.

제 2 절 활용 분야

디지털트윈의 적용 범위는 제품 트윈, 시스템 트윈, 공정 트윈으로 매우 다양한 분류로 여러 산업체에서 활용될 수 있게 퍼져 있는 상황이다. 우선 제품의 경우는 설계, 제조(생산), 판매, 운영 및 유지보수 등의 단계에서 최적화, 성능관리, 고장진단, 예지정비 등의 응용 목적으로 적용할 수 있다. 제조 부문에서는 제품 설계에서부터 플랜트 운영 감시, 작업량/로드 예측, 생산 손실 예측, 고장 진단/예측 등 제조 공정의 효율성 제고 및 최적화를 위해 널리 사용되게 된다. 항공 및 전력 산업에서는 프로펠러, 터빈 등 기계의 고장 진단, 예측 등의 목적으로 사용된다. 또한 자동차 분야에서 가상 모델은 차량의 성능을 분석하고 고객에게 맞춤식 경험을 제공하여 설계, 판매 등에 도움이 되도록 하였다. 의료 분야에서도 사물인터넷 플랫폼의 데이터를 활용한 개인화된 의료 서비스 제공 및 효율적인 환자 모니터링이 가능하게 될 것이다. 스마트 도시에서는 해당 도시에 대한 교통, 에너지, 환경 등의 새로운 정책을 가상 도시(모델)를 통해 사전 검증할 수 있게 된다.

제 1 항 제품

볼보(Volvo) 자동차 엔진

앤시스와 제너럴 일렉트로닉스의 프레딕스(Predix)를 활용해 볼보 자동차 엔진의 물리적 모델과 이를 위한 가상 모델을 제시하였으며, 시뮬레이션, 모델기반설계(MBD), 산업용 사물인터넷의 종합적 활용이 가능하도록 하였다.

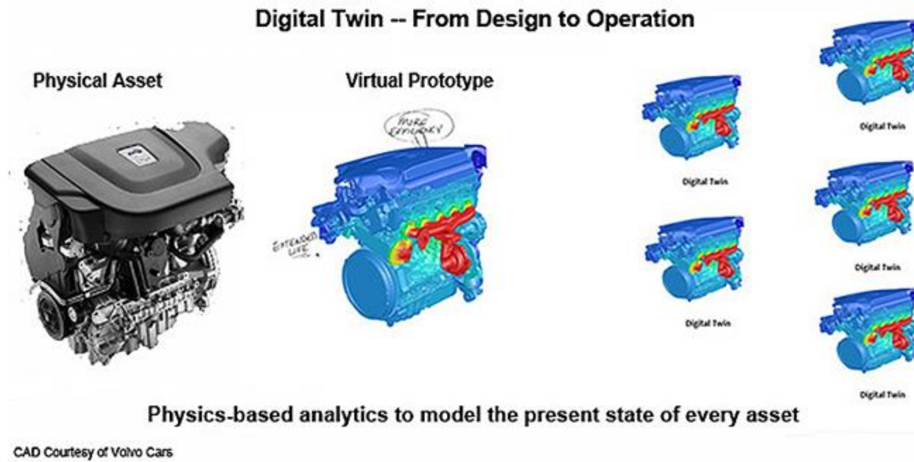


Figure 31. 볼보 엔진의 디지털트윈[35]

롤스로이스(Rolls-Royce) 항공기 엔진

제너럴 일렉트로닉스와 롤스로이스를 중심으로 디지털트윈 기반 항공엔진 제조 서비스 모델을 사업화 하였다.[36] 엔진에 센서를 부착하여 데이터를 수집하고 중앙 관제실에서 실시간으로 분석함으로써 엔진 상태 모니터링, 에너지 절감 솔루션 제안 등을 수행한 것이다. 이를 통해 엔진을 고장 없이 사용한 기간에 비례하여 요금을 청구(Power per hour)함으로써 수리비용에 불만이 많았던 고객들에게 만족스러운 결과를 제시할 수 있었다.



Figure 32. 항공기 엔진의 디지털트윈(GE, Rolls-Royce)[36]

기타

그밖에 한국의 경우도 한화에어로스페이스에서 항공기 엔진에 디지털트윈을 적용하고 있다고 알려져 있다.[37]



Figure 33. 항공기엔진 디지털트윈(출처: 한화에어로스페이스)

제 2 항 제조

생산공정의 가상 공장 구축을 위해 배치된 수천여 개의 센서로 다양한 차원에서 종합적 데이터 포착, 실시간에 가까운 분석을 수행해 제조공정의 프로세스 최적화를 달성할 수 있다.

다쏘 로봇 제조 공정

다쏘에서는 로봇 제조 프로세스 시뮬레이션을 통해 생산라인의 배치, 하드웨어, 프로세스, 작업 디자인 등 생산 과정 전체에 최적화 검토 결과 과거 대비 생산성이 10~15% 향상됨을 확인하였다.



Figure 34. 로봇제조 시뮬레이션(출처: Dassault Systems)[26]

철강 고로

고로에 대해 디지털 용광로(Digital Furnace)의 사업에서도 디지털트윈이 경쟁적으로 추진 중에 있다.

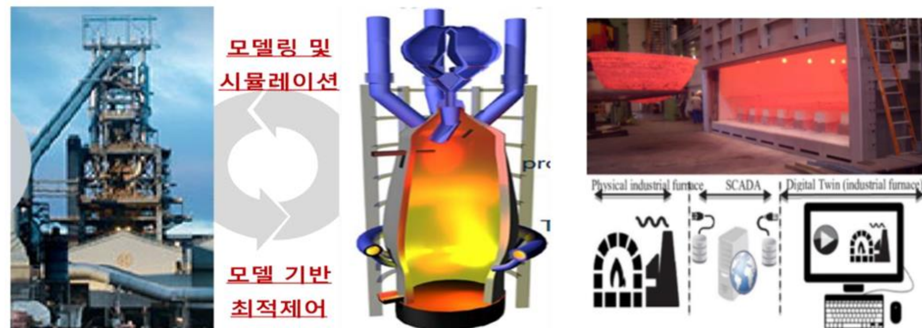


Figure 35. 고로의 디지털트윈[36,38]

보존 디지털트윈 기반 장비 출시

중국 최대 산업 자동화 솔루션 전문기업인 보존(Bozhon)이 2018년에 지멘스와 함께 디지털트윈 장비를 개발하기도 하였다.



Figure 36. 보존 디지털트윈 장비(출처: 보존)

제 3 항 도시화

버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)

2014년 11월 싱가포르 리센룽 총리가 싱가포르에서 직면하고 있는 여러 문제를 해결하기 위한 미래 10년 비전으로 스마트네이션(Smart Nation)을 선포하였다. 여기에서는 다쏘시스템과 함께 국가 전체 모습을 3D로 재현하는 프로젝트를 추진하여 도심의 도로나 아파트, 빌딩 등 주요 시설은 물론 가로수나 주변의 육교까지도 실제로 그대로 재현하도록 하여 2018년도 약 700억원을 들여 완성하였다.

싱가포르 국립 연구 재단은 싱가포르 학생 1만명이 센서가 부착된 목걸이를 차고 도시 곳곳을 다니며 각 지역의 밝기, 소음, 움직임, 습도 등의 데이터를 수집하도록 하였다. 이렇게 쌓인 데이터는 자연재해 예방과 대응, 건축물 설계, 도시 기반시설 건설 등에 활용된다.33 싱가포르 인구 통계, 이동 및 기후 등의 실시간 데이터뿐 만 아니라 기하학, 지리공간정보, 위상 기하학 등의 데이터가 버추얼 싱가포르에 반영된다. 이를 통해 도시 환경 및 재난 관리, 사회기반시설, 국토 안보, 지역사회 서비스 등 실제 도시 문제 정책을 모델링 해 보고 시뮬레이션 할 수 있게 된다. 건물 사이의 공기 흐름을 파악해 지역 전체의 통풍이 더 잘 될 수 있도록 건물을 설계해 대기질을 높일 수도 있고, 가스 누출이나 폭탄 폭발 같은 사고가 일어났을 때 사람들이 어디로 대피하는 것이 좋은지, 태풍이 닥칠 때 취약한 곳은 어디인지 등을 시뮬레이션 하여 대비할 수 있게 된다.



Figure 37. 가상 싱가포르의 디지털트윈(출처: https://bit.ly/2NqTVig)

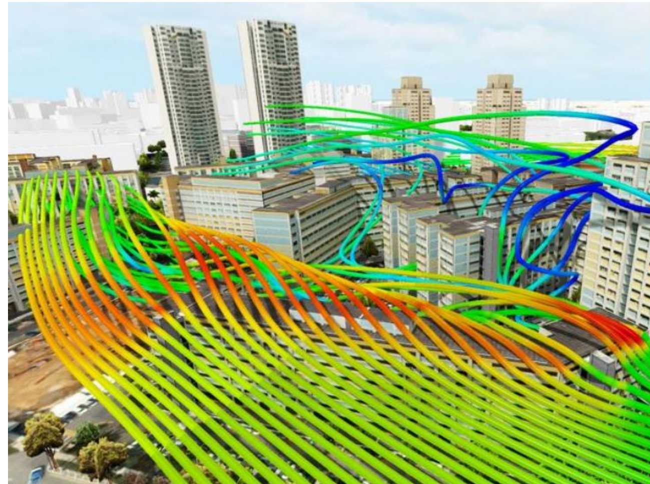


Figure 38. 디지털트윈을 위한 풍향 시뮬레이션(출처: Virtual Singapore)

보스턴 코먼 공원 일조권

보스턴에서는 시민에게 사랑을 받는 보스턴 코먼 공원(Boston Common Park)에 대한 공원 일조권의 보호를 위해 목재를 이용한 다운타운 모형을 제작하여 활용하였었다. 1990년대 초 메사추세츠 주 정부는 새로운 건축물이 시민들의 자랑거리이자 사랑을 받는 공원의 일조권을 침해하지 않도록 보장하는 보스턴 코먼 그림자 법(Boston Common Shadow Law) 안을 통과시켰다.



Figure 39. 보스턴 도시 목재 모델

2016년 11월 주차장 부지 개발업체는 BPDA에 236m 높이의 위쓰롭 스퀘어 타워(Withrop Square Tower) 건설 계획을 발표하였다. 보스턴 코먼 그림자 법의 높이 제한을 초과하는 남산타워 위치 높이와 동일한 것으로 일조권의 영향을 미리 확인해 볼 필요가 있었다. 보스턴 시장인 마티 왈쉬(Marty Walsh)는 보스턴 재정의 이익을 위해 그림자 법안 완화 로비 활동도 하였다. 디지털트윈을 통해 확인한 결과에 의해 해당 건물은 계획보다 24m 이상 낮아지고, 그레이트 홀(Great Hall)이라는 건물의 로비 공간도 시민에게 개방하게 되었다. 다만 그림자를 대상으로만 검토한 것으로

폭우, 태풍 등의 유동적인 흐름 변화는 고려가 안되어 있어 완성적인 디지털트윈으로는 평가하기 힘든 것이다.



Figure 40. 보스턴 그림자 평가 웹

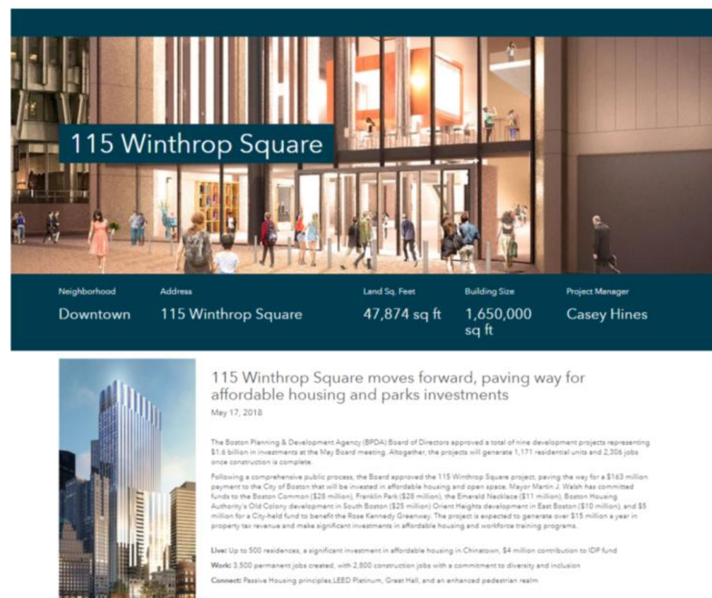


Figure 41. 위쓰롭 스퀘어 타워

영국의 VU.CITY

영국의 맨체스터, 런던, 버밍엄, 벨파스트, 브라이튼 및 파리까지 지역의 가상 도시 모델을 만들어 직접 빌딩을 구축해 보아 그에 따른 영향을 확인할 수 있도록 하는 도시 운영의 효율화 방안에 활용할 수 있도록 하였다.

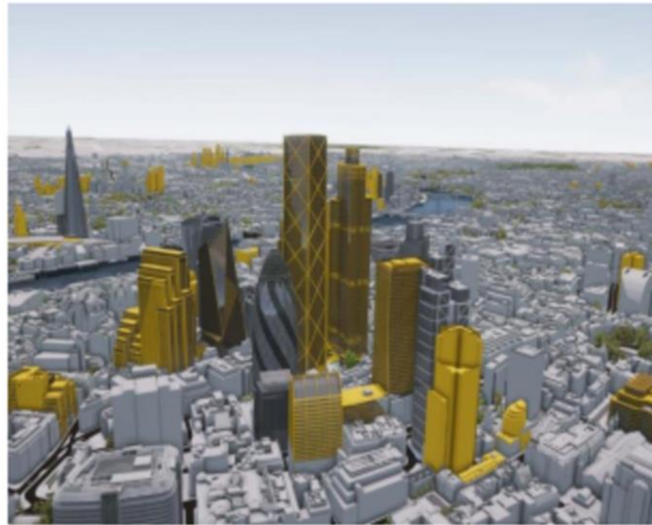


Figure 42. 런던 3D 모델(출처: PlaceTech)[39]

프랑스 버추얼 렌(Virtual Rennes)

다쏘시스템의 3D익스피리언스시티를 활용해 시스템 모델링을 통해 다양하게 생성되는 데이터를 효과적으로 수집하고 분석할 수 있는 약 45만명이 거주하는 프랑스 렌시에 대한 디지털 시티 모델을 적용하였다.



Figure 43 프랑스의 렌시 디지털 시티(출처: 버추얼 렌)

세종의 스마트시티

국내에서는 세종에 2022년까지 190억원의 투자를 통해 스마트시티 구축사업을 진행 중에 있다.



Figure 44. 세종 스마트시티(출처: http://www.sejong-smartcity.com)

전라북도 아쿠아 디지털트윈

아쿠아 디지털트윈은 가상모델에 실제 양식 현장을 재현하여 발생 가능한 여러 상황들을 미리 테스트 하는 프로젝트로 물고기가 최적의 조건에서 성장할 수 있도록 미리 분석, 이를 가상세계에 적용한 뒤 테스트하여 실제 현장에 반영하고자 하는 것이다.



Figure 45. 아쿠아 디지털트윈(출처: 삼성전기)

제 4 항 에너지

제너럴 일렉트로닉스의 디지털 발전소

발전소 전체를 가상화하고 다양한 운영 시나리오를 시뮬레이션 한 사례로 1.5% 발전 효율성 향상과 예상치 못한 가동 중단 시간 5% 감소, O&M 비용 최대 25% 감소, 이산화탄소 배출량 3%

절감 효과를 거두었다.

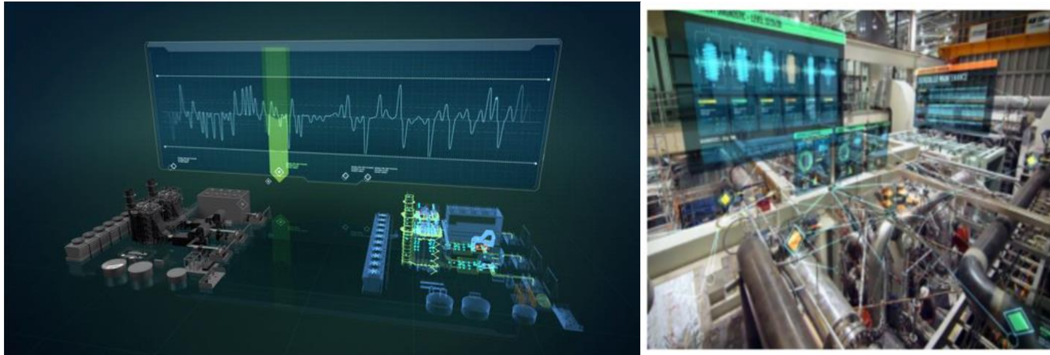


Figure 46. 디지털 발전소(출처: 제너럴 일렉트로닉스)[38,40]

나이아가라 폭포의 수력발전소 터빈

수력발전소 터빈을 디지털트윈으로 설계 후 가동해 전력 효율성을 높이고 가동중지 시간을 줄일 수 있었다. 작동 메커니즘은 우선 수력발전소의 가스터빈과 수력발전터빈, 발전기, 그 밖의 수백 대의 기계에 수천 개의 센서를 부착해 데이터를 수집하고, 제너럴 일렉트로닉스의 클라우드 기반 소프트웨어인 '프레딕스'에 연결하고, 이를 다시 수력발전소 시스템으로 데이터를 보내 분석 후 발전기를 운용하였다.[41]

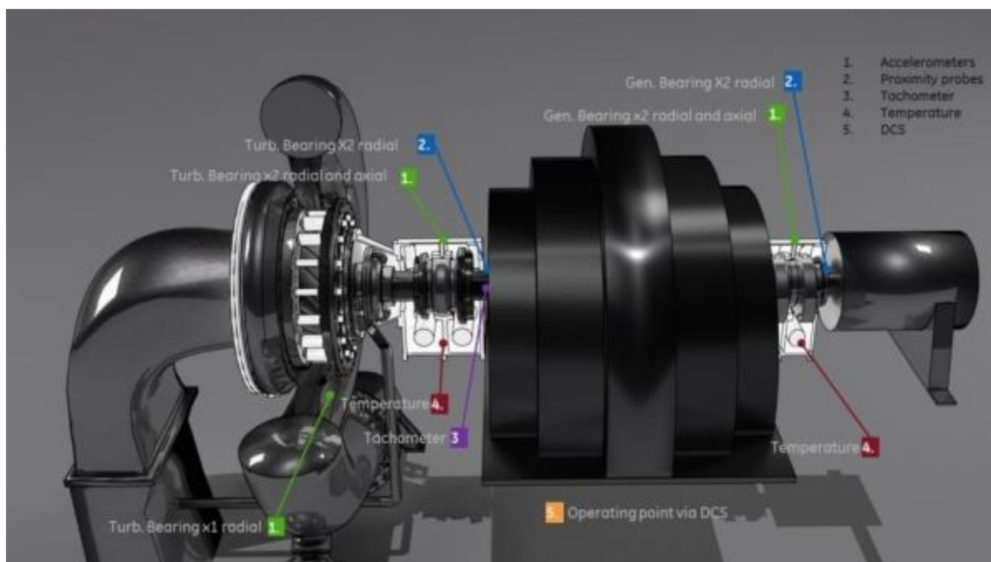


Figure 47. 수력 발전소 터빈의 디지털트윈[41]

핀란드 아틱윈드(Arctic Wind AS)

평균 시속 160km 눈보라가 몰아치는 북극 지역에서 풍력 발전을 하기 때문에 강풍에 의해 블레이드 파손의 위험이 따른다. 이에 정비팀의 파견을 통한 정기 점검을 하였으나 문제가 어딘지도 확인하기 힘들며, 시간과 비용의 낭비가 커지며 정비팀의 안전도 위협받게 된다. 따라서 풍력발전기마다 4개의 센서를 부착해 강풍에 따른 스트레스를 측정해서 디지털 모델로 상황을 관찰하고 예측 모델을 돌려 장애가 예상되면 미리 고치도록 하였다.[42]



Figure 48. 아틱윈드(출처: Arctic Wind AS)

필리핀의 Lopez-led 가스발전소

필리핀에서도 지멘스의 산업용 사물인터넷 기술을 활용해 가스발전소 디지털트윈을 만들어 가스발전소의 에너지 관리를 수행하고 있다.



Figure 49. 필리핀 Lopez-led 가스발전소 디지털트윈[43]

Nuclear Power Plants

가장 안전한 원자로가 유지되도록 하기 위해서는 정밀한 시뮬레이션을 통한 디지털트윈의 관리 수준이 필수적이다.

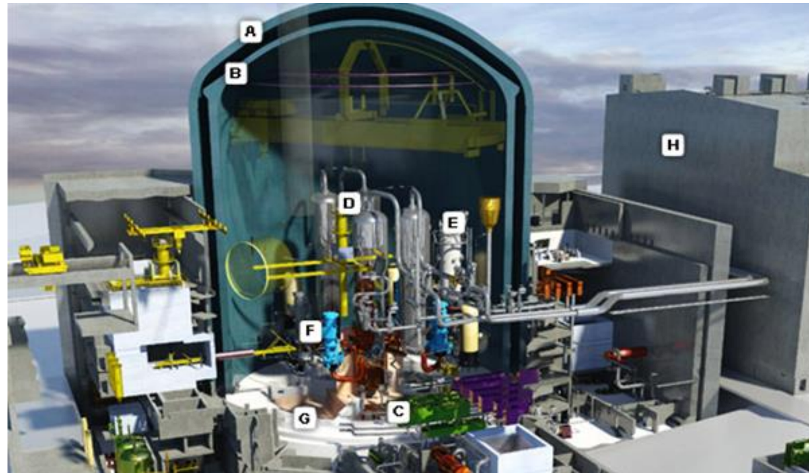


Figure 50. 원자로 디지털트윈[44,45]

제 5 항 물류

두바이 컨테이너 터미널의 가상화

터미널의 업무 오더(Job order), 각종 장비의 위치 및 상태, 컨테이너 정보 등을 가상화 모델을 통해 분석, 제공하고 있으며, 실제로 운영 비용 절감 및 생산성 향상(약 65%), 이슈 조기 대응의 효과가 있다고 알려졌다.



Figure 51. 두바이 컨테이너 터미널 가상화(출처: Nokwon Information Technology)

중철상해공정국(CRSEB) 하수 처리장 시공

우한 화학신도시에 아시아에서 가장 큰 규모로 알려져 있으며 미국 벤틀리 시스템즈의 BIM 방법론으로 적용되었다.



Figure 52. 중철상해공정국(CRSEB) 하수 처리장(출처: 벤틀리 시스템즈)

제 6 항 기타

건강 - MS사의 홀로렌즈 2

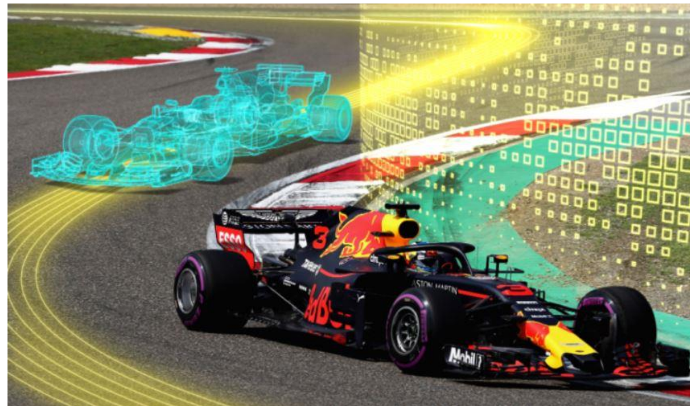
신체 내에 센서를 삽입하여 데이터의 정확도를 높이려는 기술이 연구되고, 환자 데이터를 활용한 시뮬레이션을 통해 가상 수술 등의 가상 실습 등이 가능하게 되었다.



Figure 53. MS의 홀로렌즈[38]

스포츠 - 포뮬러 원(Formula 1)

디지털트윈 기술은 포뮬러 원(Formula 1) 자동차 경주대회의 모습에도 변화를 불러오고 있다. 단 1초로도 승부가 뒤바뀌는 이런 게임에서 시뮬레이션을 통해 개선 방향을 찾고 신기록을 세울 수도 있는 것이다.



.

Figure 54. 포뮬러 원의 디지털트윈(출처: 지멘스)

사람 복제 - Oben

중국 중앙텔레비전(China Central Television(CCTV))는 스프링 페스티벌(Spring Festival Gala)에서 네 명의 MC들이 본인의 인공지능 복제인간과 함께하는 모습을 방영했다. 오벤(ObEN:*소비자를 위한 가상 아이덴티티를 만드는 인공 지능 회사)에서 만든 디지털트윈이었다. 컴퓨터로 생성된 아바타로 머신 러닝, 자연 언어 프로세싱 및 컴퓨터 비전을 사용해 MC들을 복제했다.



Figure 55. 오벤의 디지털트윈[46]

금융 - Delta Capita의 부동산 대출

시뮬레이션 플랫폼 시뮤딘(Simudyne)은 클라우드 환경에서 실시간에 가까운 데이터 수집·분석이 가능한 클레우데라의 데이터 플랫폼과 각종 위험을 시뮬레이션 할 수 있는 플랫폼 시뮤딘(2017년 설립한 시뮬레이션 전문 핀테크 시뮤딘 회사 (Simudyne Ltd.)에서 개발한 가상환경 구축 및 시뮬레이션 플랫폼)을 연계하여 금융데이터를 활용한 시뮬레이션을 진행하여 디지털트윈이 적용된다.

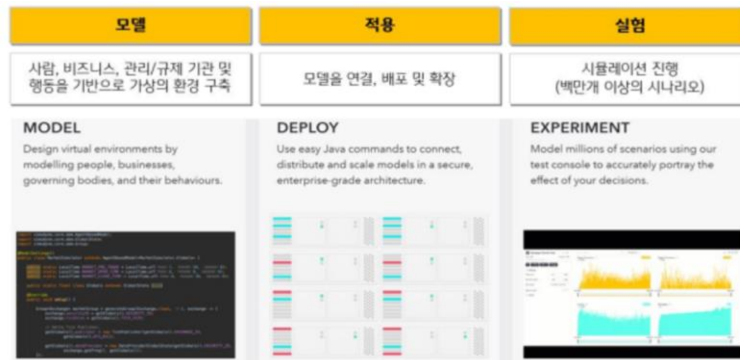


Figure 56. 시뮤딘의 시뮬레이션 플랫폼(출처: 시뮤딘)[38]

제 3 절 활용 도구 개발 상황

디지털트윈 모델 개발 및 운용 지원 소프트웨어 플랫폼/도구의 중요성이 증대되고 있다.1 가장 두각을 보이는 두 업체로는 미국 제너럴 일렉트릭의 프레딕스, 독일 지멘스의 마인드피어로 발전기 중심의 디지털트윈 플랫폼으로 시장을 확대하였다. 제너럴 일렉트로닉스사의 프레딕스의 서비스 연매출 규모는 2016년에 60억 달러로 2020년까지 150억 달러 달성을 목표로 하였다. 독일 지멘스사는 2016년의 디지털 서비스 매출액이 10억 유로인데 비해 마인드스피어 매출액은 33억 유로로 활용 도구의 시장 진출이 두각을 보이고 있다.[1] 이 밖에 시뮬레이션 툴로 엔시스, 다쏘시스템 등에서 협력 모델 등 활발한 개발 노력을 진행 중에 있다.

제 1 항 산업용 사물인터넷

제너럴 일렉트릭의 프레딕스

프레딕스는 산업용 중대형 장비나 부품에 부착된 센서로 축적되는 데이터를 분석해 현장에서 발생하는 각종 문제들을 해결할 수 있는 소프트웨어 플랫폼이다. 산업용 인터넷 어플리케이션의 구축, 배포 및 관리에 유용한 마이크로 서비스의 집합체로 이미 55만개 이상의 제너럴 일레트릭 제품을 디지털트윈으로 만드는데 활용되었다. 그리고 프레딕스 상에서 실행되는 80만개의 디지털트윈이 동작하고 있다. 대표적인 사례로 나이아가라 폭포의 수력발전소 터빈을 디지털트윈으로 설

계해 가동 후 전력 효율성을 높이고 가동중지 시간을 줄인 것과 볼보 엔진에 대한 디지털트윈을 위해 앤시스와 협업으로 완성된 사례를 갖고 있다.

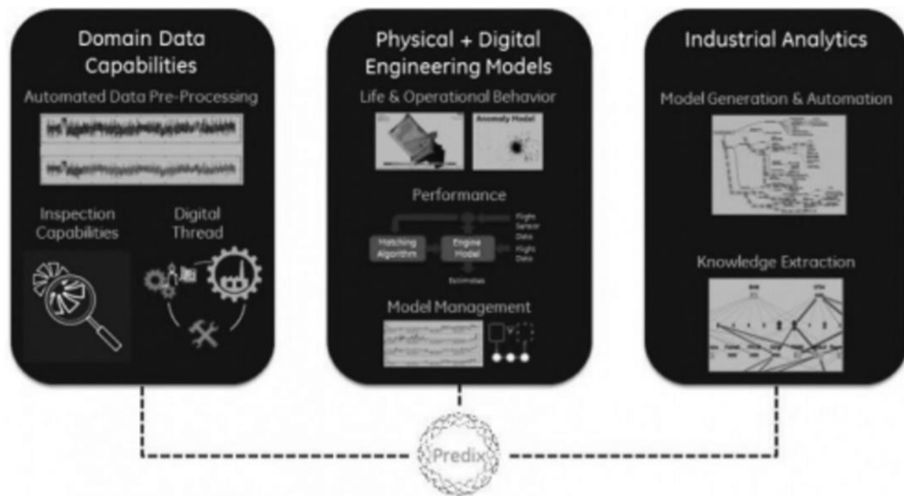


Figure 57. 프레딕스 플랫폼 개념 디자인(출처: 제너럴 일렉트로닉스)

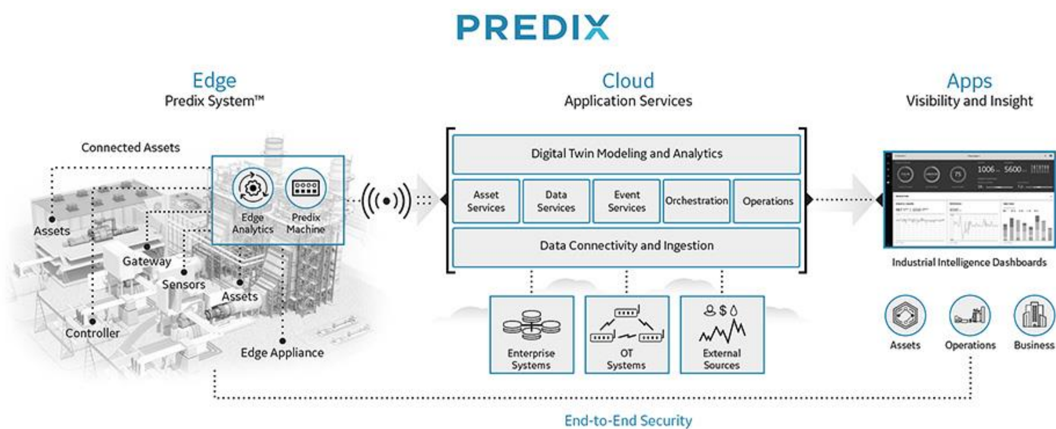


Figure 58. 프레딕스 산업용 사물인터넷 아키텍쳐(출처: 제너럴 일렉트로닉스)

지멘스의 마인드스피어 SIEMENS

공장 내 각 설비에 부착된 센서를 통해 데이터를 받아들이고 공장의 설비가 실시간으로 디지털트윈과 연결, 피드백 후 생산성을 높이는 플랫폼으로 생산 제조현장의 장비 관리, 부품 업그레이드, 유지 보수 사정을 파악해 재작업율을 약 20% 감소시킬 수 있다.



Figure 59. 마인드스피어(출처: 지멘스)

PTC 씽웍스(ThingWorx)

기업이 강력한 산업용 사물인터넷 응용 프로그램 및 증강 현실(AR) 경험을 빠르게 개발하고 구축할 수 있도록 지원하는 도구 및 기술을 제공하는 스마트제조 솔루션이다.



Figure 60. PTC 씽웍스(출처: PTC)

슈나이더 일렉트릭 에코스트럭처(EcoStruxure)

공장자동화 관련 사물인터넷 환경을 지원하고 상호 운영이 가능하도록 커넥티드 제품, 엣지 컨트롤, 애플리케이션, 분석 툴 및 서비스 등 3단계로 구성된 플랫폼이다.



Figure 61. 슈나이더 일렉트릭 에코스트럭처(출처: 에코스트럭처)

제 2 항 시뮬레이션 도구

앤시스 트윈 빌더(Twin Builder)

3D 설계, 공학분야의 구조/물리 해석 및 시스템 모델링 시뮬레이션을 제공하는 앤시스 솔루션(전자기학, 유체, 반도체, 구조 및 임베디드 소프트웨어 분야의 엔지니어링을 지원하는 다양한 제품)으로 구성품 수준의 여러 물리 모델들을 연계하여 시스템 단위의 디지털트윈 제작 및 서비스를 지원한다. PTC사 및 제너럴 일렉트로닉스사의 산업용 사물인터넷 플랫폼, SAP사의 지능형 응용 솔루션인 네오나르도(Leonardo)와의 인터페이스를 제공함으로써 기술협력을 통한 디지털트윈 환경의 구축을 가속화 하게 한다.

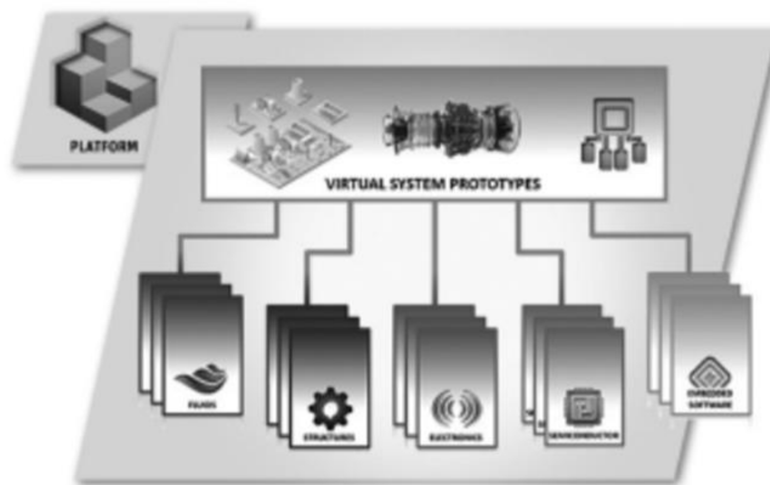


Figure 62. 앤시스 트윈 빌더 솔루션 개념 디자인[1]

지멘스(Simens) PLM 소프트웨어 심센터(SimCenter)

설계, 시뮬레이션, 테스트 및 데이터 관리 기능과 연계된 성능 및 기능 확장이 가능한 개방형 통합 3D CAE 환경이 심센터이다. 이에 따라 구조, 음향, 유동, 열, 모션 및 복합소재 해석뿐만 아니라 최적화 및 다중 물리 시뮬레이션을 포함하는 통합형 시뮬레이션 솔루션을 제공한다.



| 그림 14. SimCenter 3D 화면 예시 (출처: Simens社) |

Figure 63. 지멘스 심센터[1]

다쏘시스템 델미아(DELMIA)

제품 영역의 가상화를 제조로 확대하여 물리적 플랜트나 생산 라인이 구축되기 전에 제조 프로세스를 시뮬레이션 할 수 있도록 지원하여, 실시간 생산 활동 추적, 일정 변경 수행, 새로운 프로그램 시작, 모델 전환 도입, 유지 관리 작업 일정 등을 처리할 수 있다.

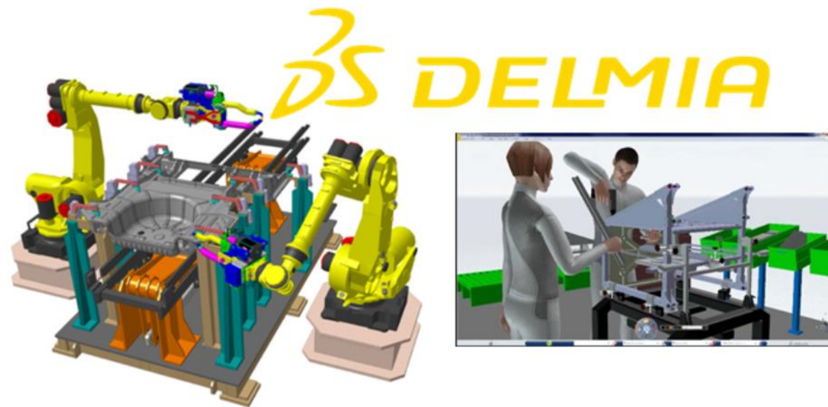


Figure 64. 다쏘시스템 DELMIA[1]

다쏘시스템 3D익스피어리언스 플랫폼

제품에 대한 3D 캐드, 3D 모델링, 유한요소 해석 및 다중 물리 시뮬레이션 기능을 제공하는 카티아(CATIA), 시뮬리아(SIMULIA) 등의 솔루션을 제공한다.

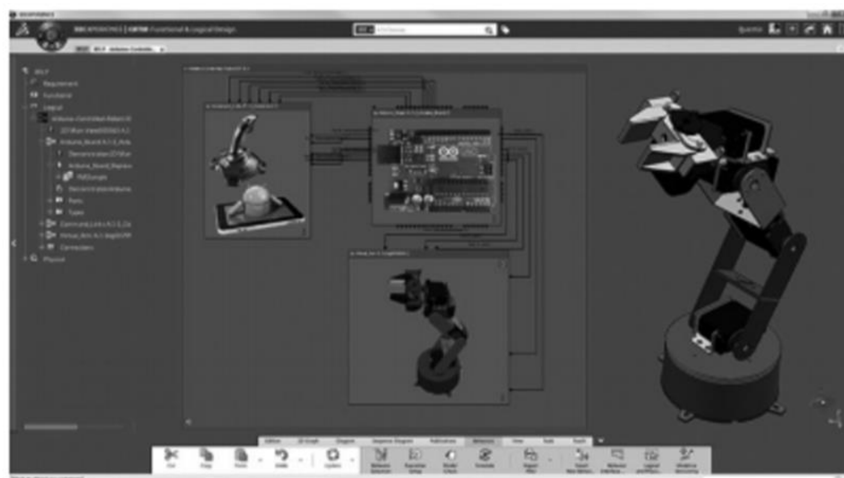


Figure 65. 3D 익스피어리언스 플랫폼 솔루션 카티아(출처: 다쏘시스템)

PTC 크레오

현재 크레오 7.0에서는 캐드 소프트웨어의 변화에 맞춰 생성적 디자인, 실시간 시뮬레이션, 다물체 디자인, 적층 제조에 대한 혁신적인 기능을 포함하여 제공되고 있다.

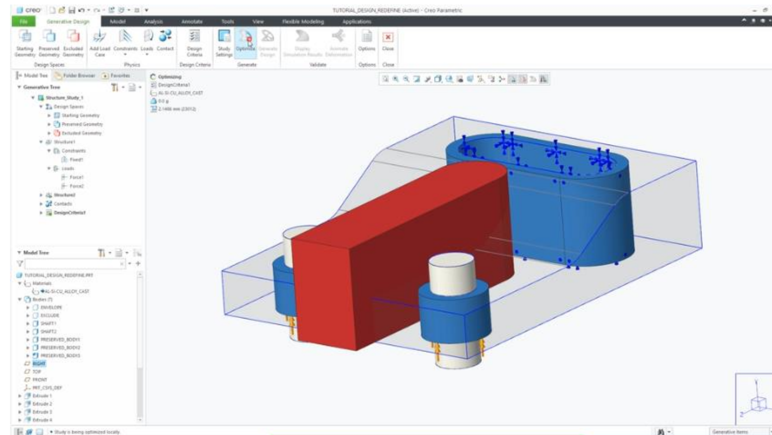


Figure 66. PTC 크레오(출처: PTC)

에너지 플러스(EnergyPlus)

에너지 플러스(EnergyPlus)는 미국 DOE의 자금 지원을 받아 일리노이 등 학교와 오크리지 국립연구소 등이 참여해 개발한 오픈소스 소프트웨어이다. 3차원 건축 설계 모습을 표현하는 기술인 BIM(Building Information Modeling) 환경을 이용해 냉난방, 공조, 빛, 물 사용 등 건물 에너지를 효율적으로 관리할 수 있다.

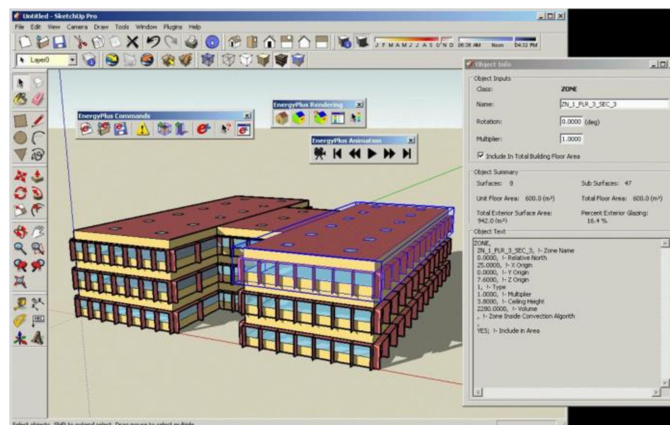


Figure 67. 에너지플러스(출처:https://energyplus.informer.com/8.4/)

이지로보틱스 DMWorks

국내에서는 대규모 디지털 공장의 생성 및 동작 시뮬레이션, 생산라인의 공법 시뮬레이션, 로보틱스 시뮬레이션 및 OLP(Off-Line Programming) 등을 수행하는 통합 솔루션을 제공하고 있다.[47]



Figure 68. 이지로보틱스 DMWorks(출처: 이지로보틱스)

제 3 항 데이터 분석 및 가시화 도구

소프트웨어 AG 트렌드마이너

벨기에 스타트업으로 시작된 트렌드마이너(TrendMiner)는 2018년도에 독일 소프트웨어 AG(Software AG)에 의해 인수되었다. 정유/석유화학 플랜트 등의 대형 산업체에서 디지털트윈을 위해 사용되는 분석 예측 소프트웨어이다. 노르웨이 DNV-GL사의 버라시티(Veracity) 플랫폼에서 선박 및 해양플랜트 중심의 디지털트윈 구축에 적용되기도 하였다.[1]

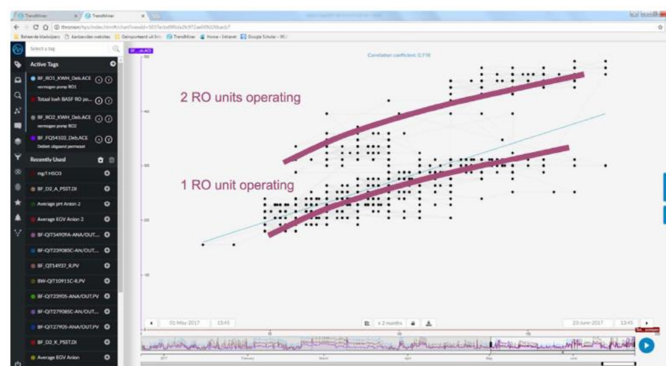


Figure 69. 소프트웨어 AG 트렌드마이너(출처: Software AG)

허니웰의 유니포먼스

미국 허니웰(Honeywell)의 유니포먼스(Uniformance)에서 정유/석유화학 플랜트의 디지털트윈을 위해 데이터와 분석, 가시화 솔루션을 제공한다.[48]

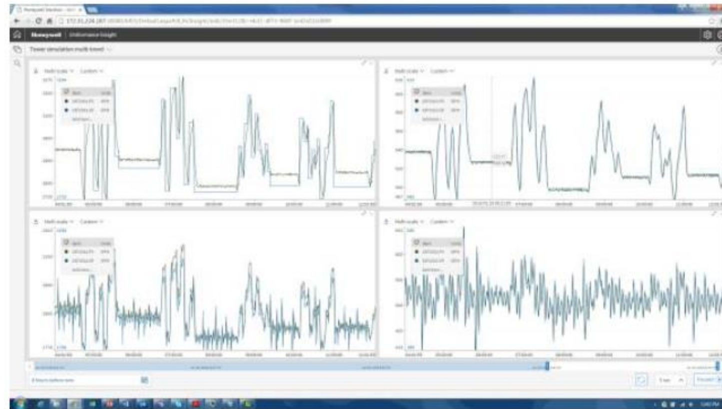


Figure 70. 허니웰 유니포먼스의 PHD(출처: 허니웰)

PTC 뷰포리아 스튜디오

뷰포리아 스튜디오(Vuforia Studio)는 공장 운영자가 공장 장비를 가상에서도 쉽게 구현할 수 AR/VR을 사용해 있도록 도와주는 증강 현실 플랫폼이다. 컴퓨터 비전 기술, 강력한 추적 기능, 광범위한 플랫폼 지원으로 업계 우위를 점하고 있다.



Figure 71. PTC의 뷰포리아 스튜디오(출처: PTC)

오토데스크 포지



포지(Forge)는 제조, 아키텍처, 엔지니어링 및 건설과 같은 산업 전반에 걸쳐 사용자 지정 소프트웨어 어플리케이션, 워크플로 및 통합을 구축하도록 하는 응용 프로그램 인터페이스 플랫폼이다.

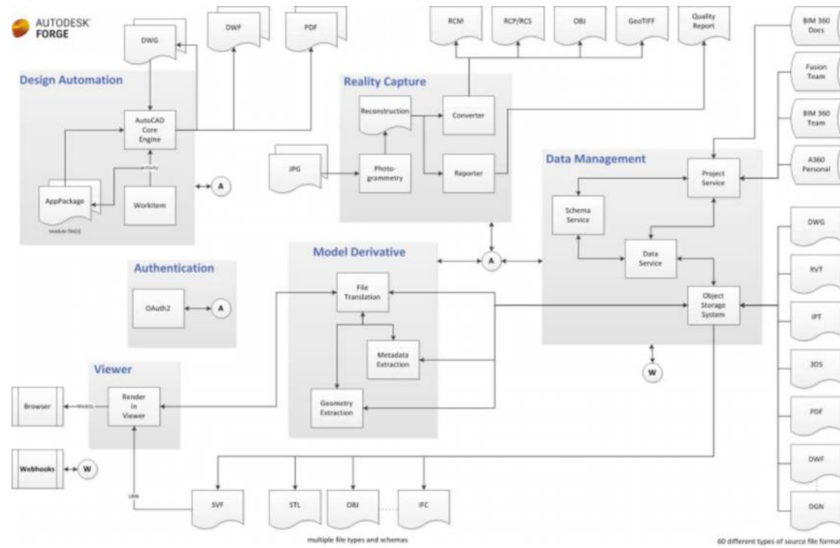


Figure 72. 포지를 정의하는 7개 그룹의 API(출처: 오토데스크)[49]

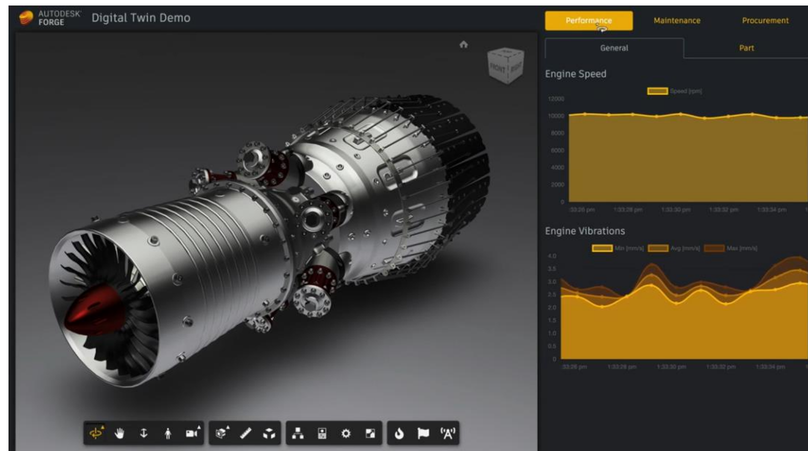


Figure 73. 오토데스크 포지에 의한 디지털트윈 엔진[49]

제 4 장 공학 시뮬레이션 활용

용어로부터 쉽게 판단해 볼 수 있듯이 디지털트윈의 개념은 실시간으로 물리 모델과 같이 동일하게 반영되는 완벽한 가상모델의 구성을 통한 초정밀 시뮬레이션을 반드시 필요로 하게 된다. 이것은 디지털트윈 중에서도 제품 트윈으로 한정해 고려해 볼 수 있다. 지금까지 제품 트윈을 위한 공학 시뮬레이션으로는 가상시험(Virtual test)의 카테고리 내에서 에어버스에서의 전기체 가상시험[50] 등과 같이 여러 차례 산업체에서의 해당 기술 적용 시도가 꾸준히 있어 왔었다. 또한 이러한 초정밀 시뮬레이션을 수행하는데 적합하도록 컴퓨팅 파워의 수준도 슈퍼컴퓨터의 획기적 발전 계기와도 맥을 같이 하게 되었다. 하지만 실제로는 아직까지 가상모델을 완벽하게 모사하는 것이 여전히 많은 시도와 적용 단계들을 남겨두고 있다. 사물인터넷을 통한 실시간을 요구하는 디지털트윈의 가상모델을 확보하기 위해서는 짧은 시간 내에 구조-열-유동-전자기 등 다중 분야의 해석 결과의 확보가 필요하게 된다. 물론 강체 모델로의 동해석이나 시스템 해석 수준에서만 적용하고자 할 경우는 시뮬레이션 부담이 상대적으로 적기 때문에 디지털트윈의 결과가 쉽게 반영될 수도 있다. 하지만 앞에서도 언급하였다시피 디지털트윈이 누구나 생각하는 수준에서 인정받을 수 있는 기술 단계로는 보기 어려울 것이다. 즉, 해석 결과의 정합성을 일정 수준 확보하고 물리 모델에 대응하도록 계산자원을 최대한으로 끌어 모아 슈퍼컴퓨터 등의 하드웨어 자원을 가동하는 방법이 요구된다. 그렇기 때문에 시뮬레이션 상에서 기술 적용 한계에 따라 기능적으로 반영될 수 있는 적정 수준의 모사가 가능한 결과를 제시할 수 있는 축차모델이 활용될 수 밖에 없을 것이다. 또 다른 방법으로는 실시간 특정 영향 관계가 일정한 상황들에 대한 결과들에 대응할 수 있도록 하는 규모가 큰 가상의 시뮬레이션 데이터 결과의 빅데이터 축적을 통한 인공지능 기술의 활용도 대안으로 반영해 볼 수도 있는 것이다. 본 절에서는 이렇게 고정밀 시뮬레이션을 요구하는 디지털트윈의 핵심이 되는 공학 시뮬레이션의 의미 및 역할에 대해 상세히 다루었다.

제 1 절 공학 시뮬레이션 개요

컴퓨터를 활용해 제품을 만드는 과정에 있어 초기 시점에는 컴퓨터를 이용한 설계(CAD)와 컴퓨터 활용 제작(CAM)에서만 컴퓨터를 이용하는 기술이 활용 되었다. 그러다가 컴퓨터 활용 기술을 확대하여 제품의 설계 검토를 위한 컴퓨터 활용 공학(CAE)이 추가된 것이다. 컴퓨터를 이용한 설계에서는 가상 목업 (Virtual mock-up) 또는 가상 디자인(Virtual design)의 용어가 추가로 사용되고 있다. 그리고 컴퓨터 활용 공학의 기술적 용어로는 공학 모델링 및 시뮬레이션(Engineering Modeling & Simulation), 가상공학(Virtual Engineering), 가상 프로토타입 (Virtual prototype)등으로 다양하게 사용되고 있으나, 현재 전 세계적으로 가장 보편적으로 해당 기술을 나타내기 위해 사용하는 용어는 공학 시뮬레이션(Engineering Simulation)이라고 말할 수 있다. 이러한 컴퓨터 활용 공학, 즉 공학 시뮬레이션은 개발 제품의 지정된 시험기준에 맞춰 공학적 특성, 기능성 및 거동 등을 컴퓨터를 통하여 가상모델로 만들어 시뮬레이션 하기 위한 컴퓨터 응용 기술이라고 정리할 수 있을 것이다.

제 2 절 공학 시뮬레이션의 구분

공학 시뮬레이션의 모델링 및 해석 수준과 관련해 물리 모델을 가상 모델로 만들기 위한 방법을 분류해 보면 상세 모델 해석과 단순 모델 해석, 그리고 가상 모델 해석에서의 입력 변수와 출력 변수와의 관계를 단순화한 함수형으로 표현하는 축차모델 해석의 3가지로 나눠볼 수 있다. 우리가 흔히 즐기는 컴퓨터 게임에서도 간단하게 구분해 볼 수도 있겠다. 마인크래프트(MineCraft)의 경우 낮은 해상도로 구현된 게임으로 초등학교 저학년 이하의 어린이들이 많이 즐기고 있다. 이에 반해 학년이 높아지면서 배틀 그라운드(Battle Ground)와 같은 고해상도 실제의 환경을 반영하는 게임으로 사실감이 더해지는 환경에 익숙해지게 된다.

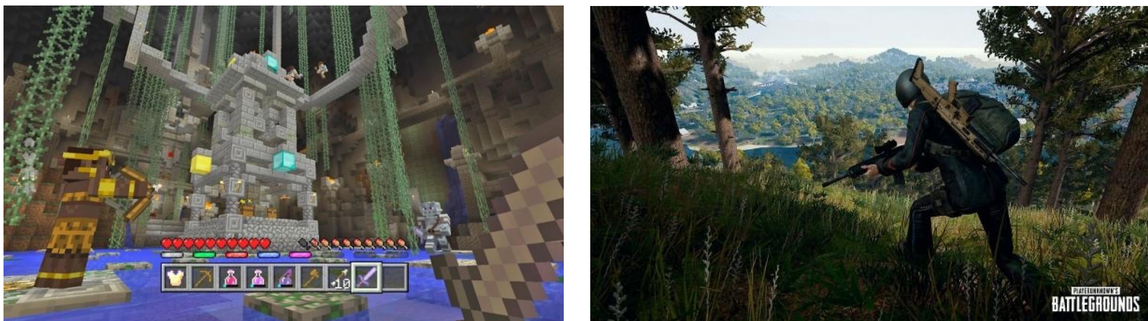


Figure 74. 마인크래프트(좌)와 배틀 그라운드(우)

상세 모델 해석의 경우는 해석 결과의 정합성 확보 측면에서 유리하나 많은 계산시간이 소모되므로 신속한 결과 확보를 위해 슈퍼컴퓨팅 파워를 필요로 하게 된다. 이러한 상세 모델해석이 되어야만 가상시험으로 적합하게 사용될 수 있게 된다. 만화영화 겨울왕국(Frozen)에서도 높은 해상도를 바탕으로 물리적 특성을 제대로 나타내기 위해 눈을 뭉치는 과정 또는 머리카락 한 올이라도 사실적으로 움직일 수 있도록 반영하기 위해 정밀도가 높은 시뮬레이션을 활용하게 된다. 또한 빅히어로(Big Hero) 에니메이션에서도 빛을 사실적으로 모사하여 현실과 같은 영상으로 구현하기 위해 슈퍼컴퓨터가 무조건 이용되어야만 했다.

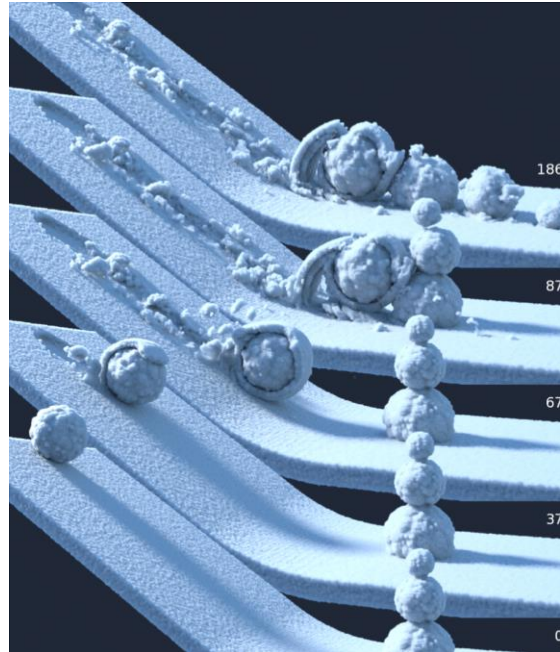


Figure 75. 눈덩이 굴리기 시뮬레이션(출처: 디즈니)[51]



Figure 76. 빅 히어로 에니메이션에서의 55,000코어 사용 빛 시뮬레이션(출처:디즈니)

단순 모델해석은 계산시간 및 컴퓨팅 파워에 크게 민감하지 않는 시뮬레이션에 적용하기 위해 사용한다. 그렇지만 해석자의 모델링 안목이 상당부분 발휘되어야 하는 것으로 해석 목적 및 모델의 규모를 임의로 설정해야 하는 과정이 필요하다.



Figure 77. 목적 중심 단순 모델링[1]

다음으로 축차모델(ROM; Reduced Order Model)은 고정밀도 해석 모델을 단순화 시킨 것으로 해석 시간의 절감 또는 다른 해석을 위한 저장 공간의 축소를 위해 필요하다. 축차모델은 고정밀 해석 모델의 시뮬레이션 결과와 동등한 필수적인 동작 및 주요 영향 관계를 그대로 제시할 수 있다. 특히 공학, 생물학, 경제 등에서는 대규모 고정밀 해석이 요구되나 메모리와 정밀도, 계산시간의 제약이 크기 때문에 축차모델을 사용하게 되는 것이다. 이는 기존 시스템에 대한 동작은 대략화 하여 표현하지만 해당 시스템에 대한 성질은 그대로 보존되고 안정성도 중요하게 유지되도록 해주는 점에 있어 유용하게 사용되고 있다. 현재 대부분의 디지털트윈이라고 말하는 기술 적용은 모두 축차모델을 활용하는 수준으로 봐도 무난할 것이다.

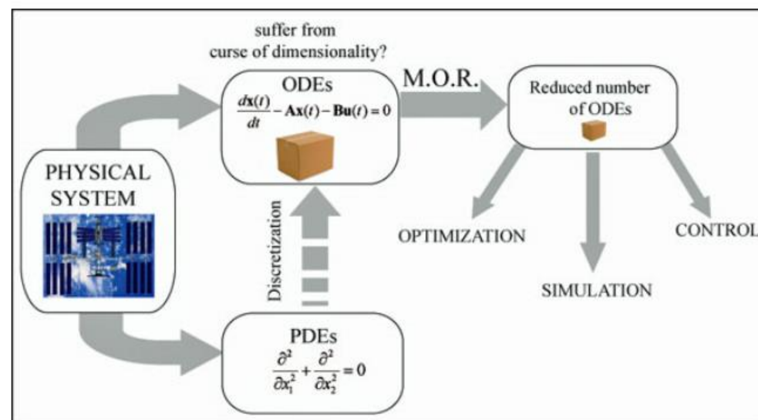


Figure 1: The setup of model order reduction.

Figure 78. 축차모델 방법[52]

축차모델 생성은 그림의 순차도에서도 확인할 수 있듯이 고정밀 모델링의 해석 결과를 축적하여 간편하게 활용할 수 있도록 함수로 도구화하여 사용한다. 축차모델로 널리 활용되고 있는 방법 중 하나인 반응표면법(RSM)은 실험계획법에 의해 지정된 디자인 포인트에서의 입력 변수 대비 출력 변수와의 함수 관계로 설정되는 방식이다. 축차모델을 사용하는 해석 적용 예로는 비행기 객실에서의 유동해석[53], 그리고 500MW급 석탄 보일러 Digital Twin 구축을 위한 ROM 인자의

영향 연구[54] 등 상당히 많은 분야에서 활용되고 있다.

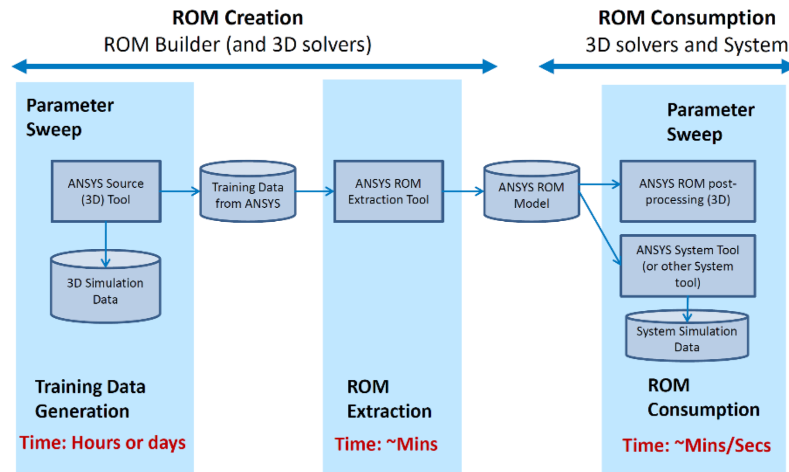


Figure 79. 축차모델 워크플로우[55]

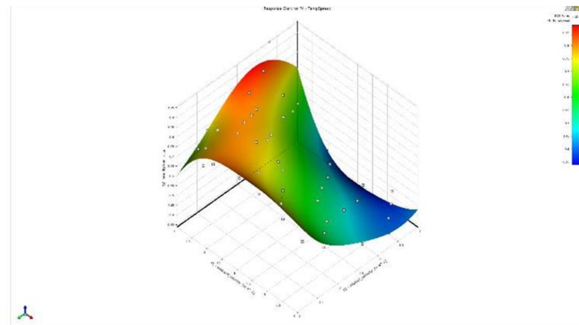


Figure 80. 앤시스 소프트웨어에서의 반응표면법 적용[55]

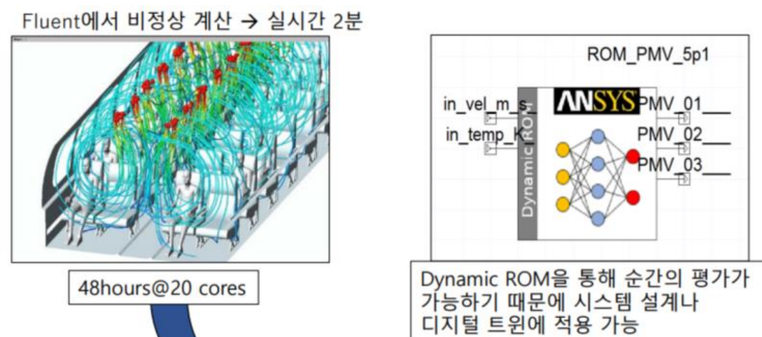


Figure 81. 앤시스 동적 축차모델 기술[55]

제 3 절 공학 시뮬레이션 도구

공학 시뮬레이션을 위해서는 이를 구체화하여 해석할 수 있도록 지원하는 공학 소프트웨어가 필수적으로 요구되며, 이를 위한 다양한 상용 소프트웨어 및 오픈소스 소프트웨어가 현재 보급 중에 있다. 마찬가지로 해당 소프트웨어를 통해 가상 모델을 해석하고자 하려면 컴퓨터 하드웨어가 필수적으로 갖춰져야 한다. 원하는 수준의 가상 모델을 제대로 풀어낼 수 있기 위해서는 이를 뒷받침해 주는 해석 알고리즘을 확보하고 있는 공학 소프트웨어와 컴퓨터 하드웨어의 속도 및 메모리 등의 처리 능력이 상호 보완 관계를 가지면서 유기적으로 연동되어야 한다.

제 1 항 공학 소프트웨어 도구

실제 물리 모델과 동등한 수준의 외부 영향을 반영시킬 수 있는 고정밀도의 가상 모델에 대한 해석 수행이나 이를 확장한 전기체 수준의 가상모델 적용을 위해 필요로 하는 것이 공학 시뮬레이션 소프트웨어이다. 전통적으로 제조업의 경우 제품 설계분석을 위해 상용 공학 시뮬레이션 소프트웨어가 지속 발전되며 수많은 사용자층을 끌어들이고 같은 소프트웨어 종족으로 만들어 나가고 있다. 사용자는 해당 소프트웨어에 익숙하기 때문에 무조건 사용할 수 밖에 없는 굴레의 구조로 이어져 오고 있는 상황이다. 특히 구조 및 유동분야 해석에서는 일부 소프트웨어로 앤시스, 시뮬리아의 아바쿠스(ABAQUS) 등이 국내외 시장 점유율의 대부분 차지하고 있을 정도로 소프트웨어의 파워가 막강한 상황이다. 이러한 상용 소프트웨어는 고가의 라이선스 비용 정책으로 사용자는 대규모 해석을 위해서도 과도한 라이선스 비용의 부담을 껴안아야 하는 상황이라 산업체에서의 상용 공학 시뮬레이션 소프트웨어의 활용은 상대적으로 접근하기 어려운 상황에 놓여있다. 이에 따라 유럽과 미국을 중심으로 활발하게 활동중인 구조해석의 코드어스터(Code_Aster)나 유동해석의 오픈폼(OpenFOAM) 등의 오픈소스 소프트웨어 진영에서의 누구나 비용에 제약 없이 사용하도록 하는 지속적인 코드 개발 노력이 한편에서는 탄탄한 개발층과 사용자층을 확보해가며 상용소프트웨어에 대응해가고 있다.

제 2 항 컴퓨터 하드웨어 도구

컴퓨터 하드웨어는 그 동안 CPU의 코어 속도를 높이는 노력에서 벗어나 멀티코어, 헥사코어, 매니코어 등으로 CPU 코어의 병렬 확장에 열을 올리면서 발전하고 있다. 또한 CPU 외에 GPU에서의 코어를 활용하는 방식으로 계산 자원의 다각도 방향으로 전환을 꾀하고도 있다. 또한 전 세계적으로 막대한 대규모 계산을 수행하기 위해 경쟁적으로 앞다투어 고성능 슈퍼컴퓨터를 보유해가며 컴퓨터 하드웨어 파워를 높이고 있는 상황으로 앞으로는 몇 년 후부터는 미국, 중국, 일본 등을 시작으로 엑사스케일 급의 슈퍼컴퓨터가 전 세계적으로 꾸려지게 될 것이다. 아직까지는 페타급 슈퍼컴퓨터 보유 경쟁에 있는 상황으로 우리나라의 경우는 2018년 12월부터 슈퍼컴퓨터 5호기 누리온이 서비스되고 있는 중으로 2019년 6월 기준 Top 500 순위에서 15위에 위치하고 있

으며 현재까지 국내에서 가장 앞서는 성능을 보유 중에 있다.



Figure 82. 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨터 5호기– 누리온(출처: KISTI 국가슈퍼컴퓨팅센터)

초고정밀 해석을 수행하기 위해서는 필수적으로 공학 소프트웨어와 이에 기반이 되는 하드웨어가 보조를 맞춰 개발되어야 한다. 물리 모델에 대한 가상 모델의 실시간 모사가 되어야 하는 디지털트윈을 구현하기 위해서 가장 중요한 요소 중 하나인 공학 시뮬레이션이 제대로 수행될 수 있도록 슈퍼컴퓨터 급의 하드웨어 환경이 무엇보다도 중요할 수밖에 없는 것이다. 지속적인 하드웨어의 발전이 개념으로만 머무를 수도 있는 디지털트윈을 실제의 적정 기술 수준에서 제대로 가동되는 기회로 만들어 가도록 해야만 진정한 디지털트윈이 완성될 수 있을 것이다.

제 4 절 가상시험

모든 제품은 그림의 항공기 제작에서 보는 것과 같이 단순하게 항공기를 구성하는 부품, 부분품 및 완성품의 단계적 과정을 거쳐 최종적으로 온전한 완제품으로 탄생되게 된다. 제품이 실제 운용되는 과정에서는 필연적으로 수많은 외부 환경요인에 의해 영향을 받기 때문에 개발 제품은 운용 전 사전 테스트가 필수적이다. 이는 하나의 제품이 완성되어 실제 운용되기 위해서는 부품, 단위품, 완성품의 각 단계별 설계에서 실제 제품 운용상의 문제가 없도록 자체 기준과 해당 제품의 사용 국가에서 지정한 표준 규정을 통과하도록 충분한 사전 검증을 거치도록 하고 있다. 그 규정에 문제 없는 한도 내에서 최적의 제품 디자인으로 확보한 시제품으로 시험을 통과해야만 비로소 최종 양산품으로 시장에 진출하게 되는 것이다. 자동차 경우 판매 인증 기준은 미국의 IIHS, 유럽의 EuroNCAP, 한국의 KNCAP 등을 통과해야만 한다. 또한 군사적인 용도로 개발되는 체계의 경우는 미 군사규격 시험 규정인 MIL-STD-810G 등으로 강제화 되어 있다. 그 밖의 모든 제품에 대해서는 국제 규격인 ISO와 국내 규격인 KS 등의 시험 규격 통과가 무조건 요구되고 있다. 따라서 자동차, 항공기, 배 등 거대한 규모의 완제품에 대한 시험을 위해서는 넓은 테스트 공간, 운용 인력, 테스트기간 등의 거대한 비용을 소모하게 될 수 밖에 없다.



Figure 83. 항공기 제작(출처: 에어버스 그룹)



Figure 84. F-35전투기 지상시험(출처: Composite World)[56]

최종 시제품에 대한 시험평가 인증 이외에는 직접적인 시험으로 확보하기 어려운 상황에 놓였을 경우 해당 시험 규정에 맞게 실제 시제품이 아닌 가상 모델에 대신 적용해 그 결과를 확인하여 제품 품질을 만족시키는 설계 개선 과정을 필수적으로 거쳐야만 개발 단계에서 상당히 많이 소모되는 시간 및 비용적 문제를 사전에 해결할 수 있게 된다. 이를 가리켜 가상시험이라고 한다. 설계 단계에서 검증된 가상 모델은 실제 운행 조건보다 가혹한 환경을 견딜 수 있도록 제시된 것으로, 이후 운영 단계에서 실제 운영 환경에 따른 제품 수명을 평가하고 운영 관리 효율을 높여 수명을 예측하며 사용 연한도 증가시킬 수 있는 디지털트윈 모델로써 중요한 역할을 담당해 나갈

수도 있게 된다.

제 1 항 전기체 가상구조시험

가상시험 중에서도 제품 구조에 직접적인 영향을 미치는 요인을 검토하고자 하는 시뮬레이션 활용 기술을 가상구조시험(Virtual structural test)이라고 할 수 있다. 일반적으로 전기체에 해당되는 완제품이 아닌 부품이나 부분품 단계에서는 가상구조시험이 일반적으로 활용되고 있다. 제품 설계 단계에서 미리 예측 가능한 극한의 외부 조건을 만족시키도록 반영시키도록 하고 있다. 또한 실시간 운용 조건에 따라 내항성 및 내구성 등 그 영향은 변동되기 때문에 제품의 수명 관리를 위해 가상구조시험이 필요하게 된다.

전기체 가상구조시험은 제품 전체에 해당되는 규모가 큰 모델에 대한 시뮬레이션을 반영해야 하는 것으로 단순한 한 가지 목적에 대한 시뮬레이션의 수행이 아닌 다양한 목적을 모두 포함해야 할 만큼 계산에 대한 부담이 엄청날 수밖에 없다. 지금까지는 자동차, 배, 건설장비, 항공기 등 수많은 제품이 제품 기획 단계부터 철저한 품질 관리를 위한 계획을 수립, 개발 단계에서 수많은 프로토타입 제품을 만들어 테스트를 진행해야 하는 고품질 제품 개발 단계가 필요하였다. 특히, 단 한번의 품질 문제로 기업의 존폐까지 영향을 끼칠 수 있는 항공기, 전투기 등의 제품들은 그 단계 및 과정이 훨씬 복잡하고 설정된 기준의 통과도 어려운 상황이다. 따라서 단가가 높은 제품에 대해서는 시험 평가의 한계로 가상구조시험으로의 전환이 지속적으로 요청되고 있고 난이도도 극대화 되어 있는 영역으로 남아 있는 상태다. 이러한 물리모델의 가상구조시험 모델은 초고정밀도가 요구되기 때문에 해당 공학 시뮬레이션 수행하기 위해서는 슈퍼컴퓨터 급의 계산자원 및 해당 지원이 가능한 시뮬레이션용 소프트웨어 도구가 반드시 활용되어야만 한다.

그 동안 전기체 가상구조시험은 많은 시도가 있어 왔으나 성공적인 결과를 제시하지는 못했었다. 일례로 에어버스(AIRBUS)에서 2005년에 최초 전기체 가상구조시험 개념 도입 및 적용을 추진해 왔었으나 아직까지 구체적으로 실현되지는 않은 것으로 판단된다. 국내에서도 국방과학연구소의 주도로 서울대 비행체특화연구센터에서 기초 연구단계에서 항공기 날개에 대한 가상구조시험에 대한 시뮬레이션 확보 시도도 있었다. 이렇듯 전기체 가상구조시험이 제대로 구현될 수만 있다면 최초 제품 운용을 위한 사전 테스트 수준을 넘어 운용 단계에서 충분히 활용할 수 있도록 하는 그야말로 디지털트윈에 충실한 중요한 역할을 하게 되는 것이다.

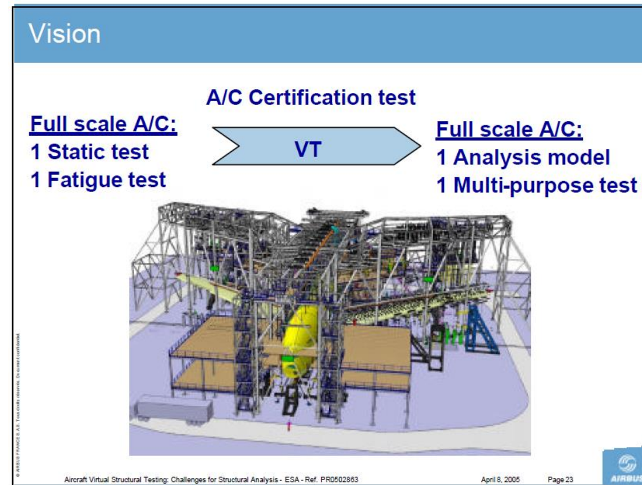


Figure 85. 전기체 가상구조시험 개념(출처: 에어버스)

제 2 항 가상풍동시험

가상구조시험이 제품(또는 구조물) 형체에 미치는 영향을 검토하는 것이라면 제품에서의 유동 흐름 분석을 위한 가상시험은 가상유동시험(Virtual wind test)이라고 말할 수 있을 것이다. 하지만 완제품에서의 유동 흐름 영향을 시험하기 위해 전통적으로 풍동시험이 사용되고 있기 때문에 가상유동시험의 용어를 쓰는 대신 가상풍동시험이 유동 분야에서는 직접적으로 공학 시뮬레이션을 활용한 기존 시험의 대체 영역으로 받아 들여지기가 쉬울 것이다.

풍동시험 장치는 4가지 유동 속도 영역(저아음속(low subsonic), 천음속(transonic), 초음속(supersonic), 극초음속(hypersonic))으로 구분되며 해당 기준에 맞는 물리 모델의 시험이 준비되어야 하므로 까다롭다. 풍동시험 형태에 있어서도 구조에 미치는 공력 영향, 물체에 미치는 전체 압력, 물체 주위 유동 흐름, 진단 정보 제공을 위한 유동 가시화 기술의 4가지로 구분되어 다양하게 활용되고 있다.

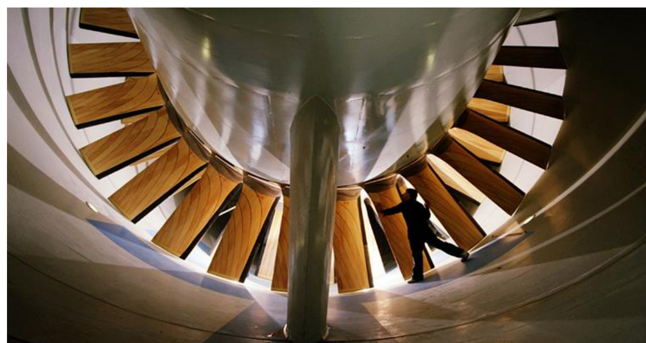


Figure 86. 나사의 천음속 풍동시험[57]

자동차 정도 크기의 경우 풍동시험으로도 실제 크기를 반영할 수 있으나 항공기, 도시 등은 대규모 크기의 물리 모델에 따라 풍동시험 장비를 해당 크기에 맞춰 시험 공간을 구축 및 운영하기에는 상당한 부담을 가질 수 밖에 없다. 그렇기 때문에 기존에 확보된 풍동시험 장치에서 사용할 수 있는 가능 크기 수준으로 해당 축소 모델로 만들어 사용하는 풍동시험이 대체적인 방법이다. 하지만 물리 모델 크기 변경에 따른 레이놀즈 수, 사이즈 등의 물리적 영향이 시뮬레이션에서는 제대로 고려하기 어려운 상황이 발생되게 된다. 따라서 이에 대한 대응으로 실제 크기의 가상 모델로 구성한 풍동 시뮬레이션을 반영하는 것을 고려해 볼 수 있다. 마찬가지로 전체 크기의 제품의 모델에 대한 고정밀 시뮬레이션을 반영하기 위해서는 필수적으로 충분한 계산 파워를 가질 수 있는 슈퍼컴퓨터를 활용해야만 가능하게 될 것이다.



Figure 87. 실제 크기의 자동차 풍동 시험[57]



Figure 88. 축소 비행기 풍동 시험[57]

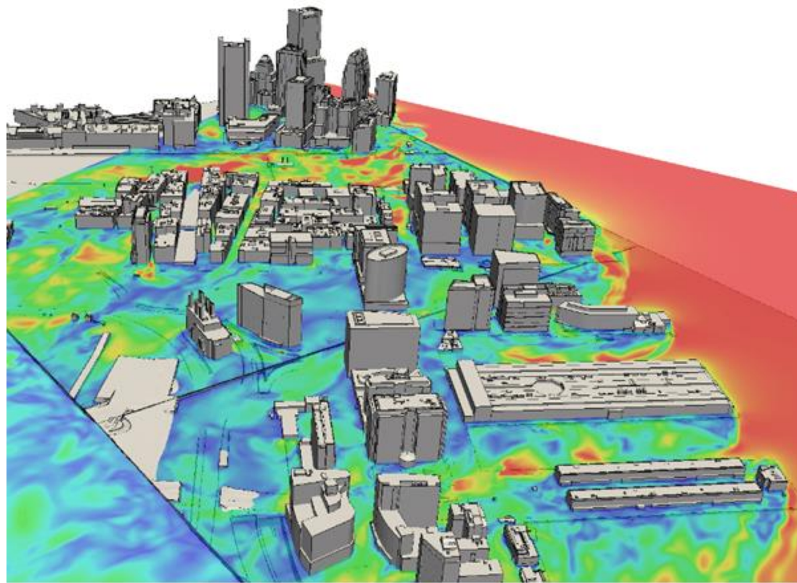


Figure 89. 도시 풍동시험(출처: Simscale)

제 5 장 공학 시뮬레이션을 통한 디지털트윈 완성

디지털트윈이 완성되기 위해서는 물리모델과 가상모델을 연결시키는 사물인터넷 기술, 데이터를 수집, 분석하고 처리하는 빅데이터 기술, 가상 모델을 구동시키기 위한 공학 시뮬레이션 기술들이 필수 요소로써 동작하게 된다. 물론 클라우드, 산업용 사물인터넷, 보안 등 디지털트윈의 인프라 확대가 필요하지만 이 중에서도 디지털트윈의 개념인 물리모델을 그대로 따르며 실시간으로 동작하게 하는 가상 모델을 제대로 구현되기 위한 공학 시뮬레이션은 실시간의 동작이 가능하지 않더라도 제품, 시설, 도시 운용에 효율적으로 활용될 수 있는 가장 중요한 요소라고 생각된다. 본 장에서는 이러한 공학 시뮬레이션이 디지털트윈을 완성시키는데 어떻게 작용하는지 상세하게 다루었다.

제 1 절 시뮬레이션과 디지털트윈의 관계

시뮬레이션은 외부 환경에 나타나는 물리 모델의 반응을 그 적용 당시 기준으로 확인하는 것으로 외부 환경의 영향을 지속적으로 반영하지는 못한다. 하지만 디지털트윈은 실시간으로 바뀌는 외부 환경에 대응하는 물리 모델의 영향을 확인하도록 가상 모델에 대해 시뮬레이션 기술로 이뤄내는 것이다. 그리고 물리모델을 그대로 제대로 된 가상모델에 반영되어야 하는 디지털트윈이 되지만 그렇게 하기 위한 시뮬레이션을 확보하기는 쉽지 않게 되고 때문에 완벽한 디지털트윈 모델의 구축은 가능하지 않게 된다. 이에 따라 시뮬레이션이 디지털트윈에 개념적 접근이 가능하도록 연결해 주는 방법으로 가상 모델의 모델 단순화 또는 단순 물리 모델의 경우 축차모델(ROM)이 주로 활용되고 있다.[58]

디지털트윈 모델이 한 개가 아닌 수천 개가 되거나 시뮬레이션 회수가 수천만 번을 넘어서는 경우 일종의 빅데이터가 구성된다. 그리고 빅데이터의 분석 및 가시화의 기술, 제품의 수리 이력, 운용 이력 등 다양한 데이터를 함께 활용하게 되는 것을 모두 통틀어 디지털트윈으로 보는 시각이 있다.12 하지만 디지털트윈은 모든 모듈이 일관성을 가지고 전체 유기적인 조합이 가능해야만 비로소 완성될 수 있게 되는 것이다. 따라서 현 시점에서는 공학 시뮬레이션 기술의 보편화 비전 실현을 오히려 디지털트윈이 돕고 있다고 보는 것이 현실적으로 더 효과적인 판단일 것이다.

제 2 절 디지털트윈의 핵심기술인 공학 시뮬레이션

가상시험이 제대로 이뤄질 수 있어야 비로소 시뮬레이션 기반의 완전한 디지털트윈이 된다고 판단된다. 제품의 경우 여러 부품들이 모여 완제품이 되는 것으로 이상적인 디지털트윈을 갖추려면 구조, 유동, 시스템 등 복합적 물리 영향을 반영할 수 있도록 초고정밀도(ultrahigh fidelity) 고충실도를 갖는 가상 모델로부터의 시뮬레이션으로 제대로 구현되어야 한다. 즉, 가상모델은 다물리 융합 해석이 연동되어 완벽한 물리 모델의 외부 영향을 똑같이 나타내 주어야 한다. 따라서

가상 시험단계에서 적합한 시뮬레이션 결과의 확보가 담보되도록 만들어야만 한다. 이를 통해 제품의 운용 면에서 수집된 물리적 데이터를 통해 실시간 디지털 모델을 동기화 해 가야 하는 것이다. 하지만 복잡한 구조에 대해서는 제대로 된 디지털트윈을 위해 모든 시뮬레이션 항목에 대해 만족시켜야 하므로 용어에서 말하는 완전한 디지털트윈은 갖춰지기 쉽지 않는 것이며, 이에 최대한 접근 가능한 상태까지를 반영해 나갈 필요가 있는 것이다. 즉, 가상 모델의 충실도 반영은 물리 모델의 저, 중, 고에 대한 선택적 접근법을 사용하여 반영하게 된다. 그러므로 현실적으로는 디지털트윈의 기본적 프레임 구축 단계에서 이해되어야 할 것이다.

우선적으로 작고 간단한 물체에 디지털트윈을 적용하여 가변 데이터의 결과로부터 예측에 활용 가능하도록 하는 것이 중요하다. 이는 디지털트윈과 현실의 물체가 똑같아질수록 효율화 등의 이점을 얻기가 쉬워지기 때문이다. 사물인터넷을 통한 측정이 정교해질수록 장기간의 성능 기록을 정밀하게 시뮬레이션을 할 수 있게 되는 것이다. 그러나 현실적으로는 부가가치가 높은 다부품 어셈블리 제품이 우선적으로 디지털트윈에 적용하고자 하는 기업의 상황에 따라 아직까지 완제품 등에 디지털트윈의 완벽한 개념을 나타낼 수 있는 시뮬레이션 구현에는 미처 도달하지 못한 상황이므로 한계는 분명 가지고 있다.

하드웨어 및 소프트웨어의 지속 발전에 따라 공학 시뮬레이션에 의한 물리 모델의 가상 모델과 시스템 엔지니어링의 융합이 가능하게 되었으나 여전히 컴퓨팅 파워 부족으로 가상시험을 제대로 모사해내지 못하고 있다. 더구나 공학 시뮬레이션의 목표는 전기체 가상시험의 기술이 확보되도록 하는데 있기 때문에 이를 해결하기 위해서 초고성능 컴퓨팅의 활용이 필수적으로 반영되어야만 하는 것이다. 디지털트윈을 통해 향후 제품의 상황을 예측해 볼 수 있게 하기 위해서는 그만큼 컴퓨팅 파워의 확장을 통한 초고정밀 공학 시뮬레이션을 수행할 정도로 실시간으로 계산자원으로 동작해 가야 하는 것이다.

디지털트윈을 구성하는데 가장 기본이 되어야 하는 공학 시뮬레이션의 경우 제품 개발, 제작, 판매 및 서비스의 3단계에 지속적으로 활용되어야 하며 각 단계는 모두 유기적으로 연결되어야 한다. 제품 개발 단계에서는 제품 컨셉 정의 → 기초 3D 도안 구성 → 기본 시뮬레이션 검토 → 상세 3D 도면 구성 → 시뮬레이션 수행 → 적합 형상, 재료 조건 확보의 과정으로 담당하게 된다. 제작 단계에서는 스마트 팩토리 및 스마트 제조의 과정에 필요하게 된다. 마지막으로 3단계에서는 시뮬레이션 빅데이터와 사물인터넷의 빅데이터를 통한 인공지능의 결과 활용이 요구되는데 초고정밀도 모델과 함께 고성능컴퓨터가 필수적이며 AR/VR/MR 등의 기술도 함께 활용된다. 공학 시뮬레이션은 가상 모델에 대한 디지털트윈의 두 가지 관점에서 보면 모델 기반 어플리케이션이 이용되거나 데이터 기반 어플리케이션이 함께 동작해 주어야만 가능하게 된다.



Figure 90. 다쏘시스템의 모델/데이터 기반 응용 소프트웨어

제 3 절 검증 및 실증

가상 모델이 물리 모델과 수명주기 동안 실시간 제대로 동작해 가기 위해서는 시간에 따라 축적되는 외부 환경에 적정하게 반영되고 있는지의 주기적 검증(validation) 과정이 요구된다. 이는 시뮬레이션의 결과에 대한 신뢰성을 보장받기 위해서 대상 체계를 추상화한 모델이 목적에 맞게 개발되어 사용해도 되는지 일련의 점검 및 승인 과정이 필요하다. 구현된 모델이 설계서와 일치하도록 올바로 만들어졌는지 확인하는 과정이 검증(Verification)이며, 대상시스템(목적)에 맞는 올바른 모델이 만들어졌는지 확인하는 것이 실증/확인(Validation)이다. 그리고 앞의 검증 및 실증(V&V) 과정을 통과한 모델이 원래의 목적에 사용할 수 있음을 승인 또는 공식화하기 위한 인정(Accreditation)이 있다.[1] 운용 중인 제품은 모두 정기적으로 이러한 V&V의 과정을 수행해 주어야 한다. 이는 인간의 복제품을 만든다고 했을 때 시간에 따라 변화되는 여러 장기와 혈액 등이 노화됨에 따라 변화되는 모델로 제대로 반영되어야 하므로 지속적인 검증 과정이 이뤄져야만 하는 것과 같은 이치이다.



Figure 91. 인간 복제를 위한 검증 및 실증(출처: https://blog.naver.com/esrikr/221578286323)

가상시험에 있어서도 허용 가능한 수준에 대한 만족한 범위의 기준 제시나 예상하지 못하는 입력에 따른 센서 데이터의 한계 또는 앞으로의 영향 문제 분석에 있어 꼭 공학 시뮬레이션 기술 활용이 필요하게 된다. 특히 제품 내구성 문제, 제품 수명 문제, 유동 흐름 영향 문제, 또한 이런 범위의 데이터에 따른 정기적인 V&V의 재 구성이 필요하게 되는 것이다. 이를 다루기 위해서는 속도와 정밀도가 높은 해석이 필수적으로 함께 반영되어야 한다. 공학 시뮬레이션으로 존재하는 설계 분석 단계에서와 활용으로부터 더욱 나가 운용에서의 활용 연동성 강화가 필요하다. 제품 개발 시에 적용되었던 수많은 시뮬레이션 데이터가 그대로 사장되는 것이 아니라 운용되면서 적합한 방향으로 사용될 수 있도록 단계의 확장이 요구되는 것이다.

제 4 절 인공지능 활용

운행중인 자동차 엔진과 같은 물리 시스템 자체적인 소음이나 진동 데이터를 수집하여 직접적으로 인공지능 기술을 활용해 이상징후 포착을 할 수 있는 고장진단이 활용되고 있다.[59] 이렇듯 사물인터넷의 데이터로부터 활용되는 인공지능은 단지 눈앞의 단기간 상황의 진단에서만 활용 효과가 크게 되는 것이다. 따라서 외부 하중에 의해 발생되는 구조물의 피로 등 내구성에 중요한 요소의 경우 쉽게 결과를 예측해 가기 어려운 부분이므로 시뮬레이션을 활용해 일시적인 상황 및 미래 예측을 위해 체크해 가야만 한다. 하지만 시뮬레이션을 활용하고자 할 경우는 발생 가능한 경우의 수에만 의존하기에는 실시간 데이터 축적을 요하는 상당한 컴퓨팅 파워가 필요하므로 적용이 쉽지 않게 된다. 충돌해석과 같은 대규모 모델링 해석을 위해서는 시간에 따른 결과를 함께 파악하여야 하므로 한가지 해석 케이스에만 소요되는 해석시간도 상당히 많이 필요하게 되는 것이다. 더구나 모델링의 정밀도를 향상시켰을 때는 결과의 신뢰도가 향상될 수 있으나 오랜 계산 시간이 소요되는 문제를 직면하게 된다.

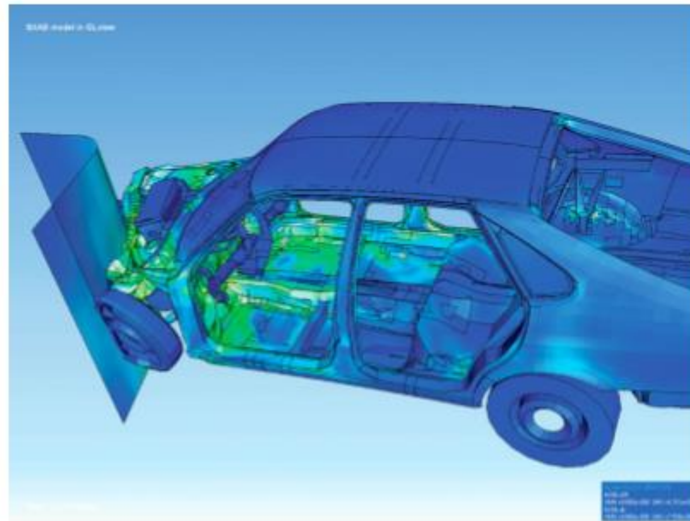


Figure 92. 차량 충돌 시뮬레이션[60]

이를 위해 시뮬레이션 일부 결과를 활용해 머신러닝을 통해 추가적인 영향 관계를 예측해 갈 수 있는 기술을 이용하는 것이 점차 필요해지고 있다. 시뮬레이션 결과를 기반으로 인공지능 기술이 활용되어 함께 분석함으로써 예상 결과를 단시간 결과 확보 및 디지털트윈의 실시간성을 확보해 갈 수 있게 되는 것이다. 이와 같이 디지털 모델 시뮬레이션 기반의 최적화, 예측 등을 위한 지능형 소프트웨어를 확보해 가는 것이 중요해졌다.

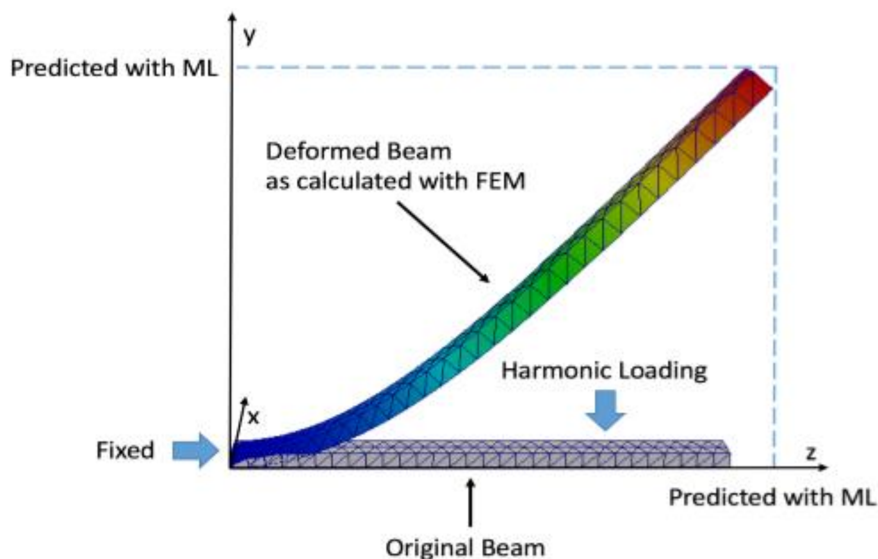


Figure 93. 머신러닝과 유한요소방법의 빔 변위 비교[60]

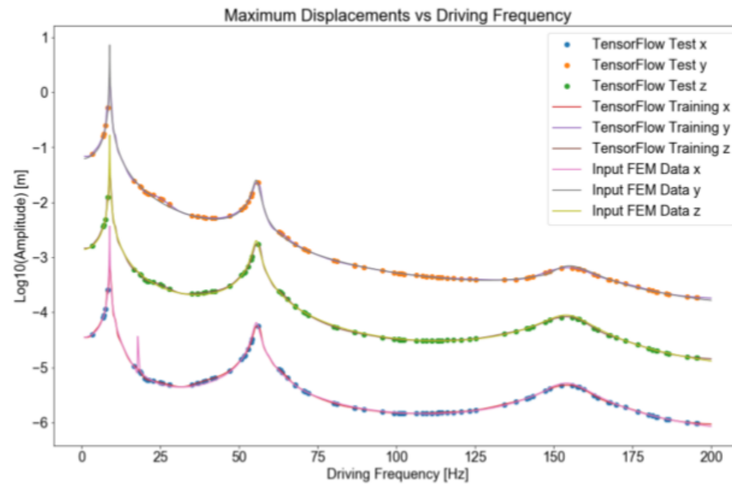


Figure 94. 빔에 대한 텐서플로우와 유한요소방법의 주파수 비교[60]

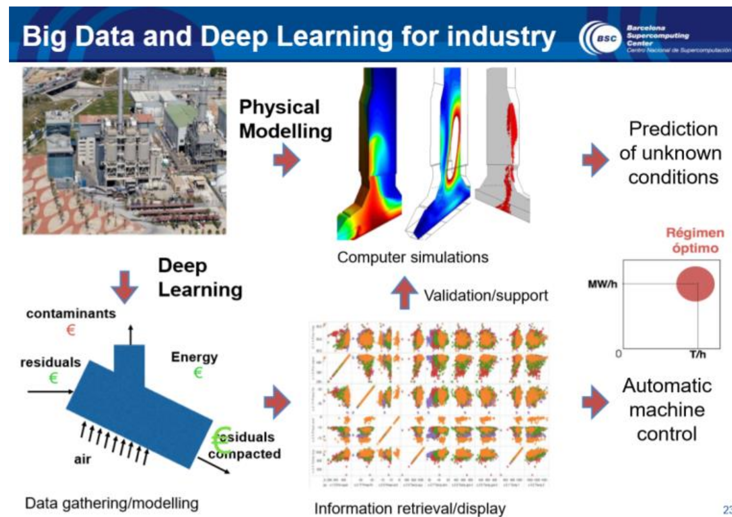


Figure 95. 플랜트 산업을 위한 딥러닝 이용 열해석[61]

제 5 절 디지털트윈의 완성

디지털트윈의 한 예로 지난 2019년 8월에 있었던 태성에스앤이 주관 CAE 컨퍼런스 전시에서 한 외국 업체의 펌프 유닛의 디지털트윈 모델을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 위해 시스템 모델링으로 1D 시뮬레이션이 적용되었고 산업용 사물인터넷을 적용한 디지털트윈 플랫폼과 이에 대한 모니터링 어플리케이션을 통한 전체 통합 환경의 구현을 제시한 것이었다. 이는 기존 자동화 시스템에서도 활용되어 왔던 것으로 시스템 트윈으로 볼 수 있을 것으로 제품과 관련해 요구되는 디지털트윈의 완성도는 아직 본 궤도에는 오르지 못한 수준에서의 시뮬레이션 기반 구성이라 생각된다. 즉, 파이프 내의 유동 흐름 및 파이프 구조에 미치는 피로 영향에 의한 파단 등 물리 모델의 구체화된 가상 모델의 영향을 함께 반영하지는 않았기 때문에 완전한 디지

털트윈이 되지 못했기 때문이다.

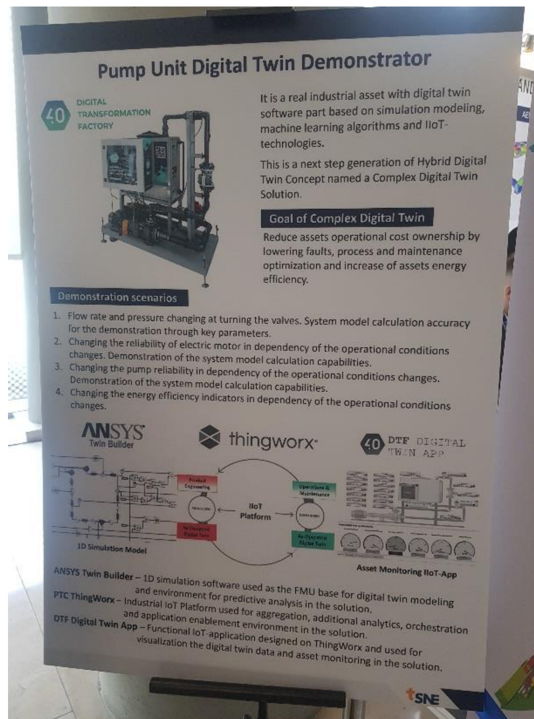


Figure 96. 펌프 유닛의 디지털트윈 데모(태성에스앤이 CAE 컨퍼런스, 2019)

디지털트윈이 제대로 동작하기 위해서는 현재 및 미래 시점에서 물리 모델의 영향을 검토하기 위해 필수적으로 반영되어야 하는 공학 시뮬레이션을 개발단계부터 제작, 서비스 단계에 걸쳐 유기적 관계를 갖게 하고 전체적으로 활용되도록 해야 한다. 디지털트윈을 통한 최고 활용 가치를 높이기 위해서는 제품의 생산-제조-운영 동안 모든 데이터의 유기적 연관성을 가지는 OPENPDM 툴과 같이 체인화의 제공이 반드시 필요하게 된다. 이는 디지털트윈과 연계되는 디지털 쓰레드와 맥을 같이하는 것이다.

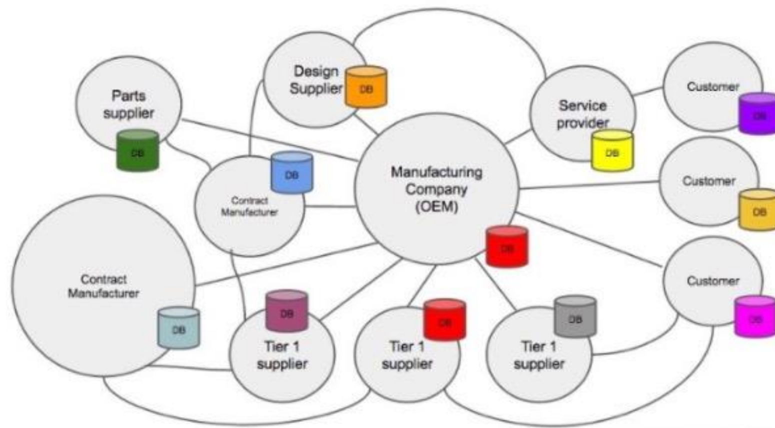


Figure 97. 디지털트윈을 위한 전체 가치사슬[62]

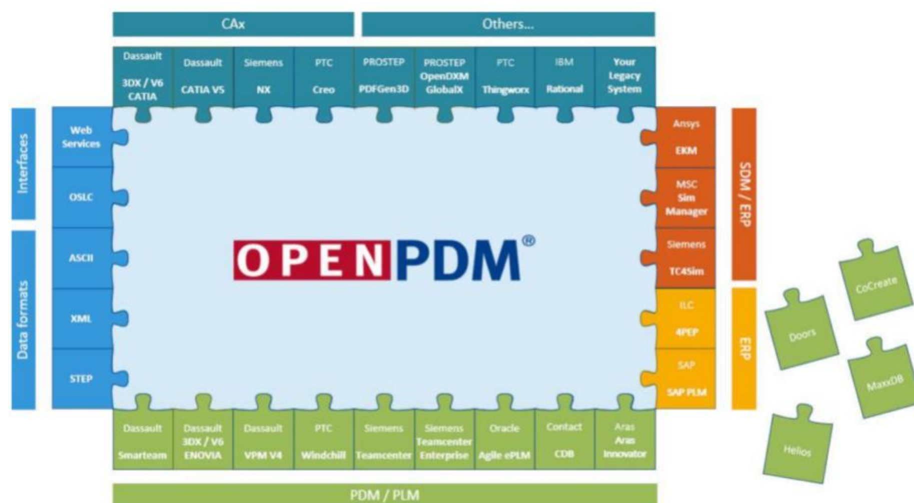


Figure 98. OPENPDM의 가치 사슬[25]

디지털트윈은 체인화와 함께 통합화도 구성되어야 제대로 된 제품 전주기에 걸쳐 그 기능을 효과적으로 발휘할 수 있게 된다. 이는 디지털트윈과 연계되는 디지털 쉐도우와 맥을 같이하는 것으로 파악해 볼 수 있다. 통합화는 여러 요소가 얽히게 되는 복잡한 과정에 따라 통합화를 위한 표준화된 플랫폼이 요구되지만 이를 구축하기는 쉽지만은 않다. 이러한 표준 플랫폼의 솔루션은 스타트업에서 시도할 수 있는 부분이 아니라 대기업에서 주도적으로 솔루션을 발굴할 필요가 있다. 제너럴 일렉트릭의 경우 자체적으로 제트엔진 제조 공정의 일환으로 사내에 디지털트윈을 구축 운영하고 있으며 이를 통해 외부 서비스 모델을 구축 전개 중에 있다. 국내의 경우는 통합화를 위한 초기 단계인 플랫폼의 정의가 먼저 이뤄져야 할 만큼 상당히 기술 활용 측면에서 뒤쳐져 있다고 보인다. 디지털트윈이 포함되는 통합화는 제품수명관리(PLM)가 가장 적정할 것으로 보이

며, 자원관리(ERP), 제품정보통합관리(PDM), 시뮬레이션처리데이터관리(SPDM), 제품개발지원관리(PLM) 등의 시스템들과의 결합이 함께 포함되어 제품의 폐기되기까지 활용되어 가는 것이 바람직 할 것이다.

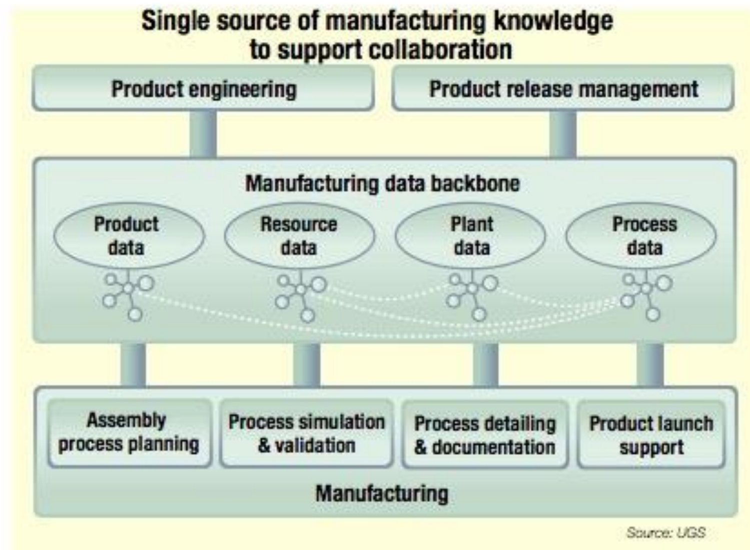


Figure 99. 디지털트윈을 위한 디지털 쉐도우의 협업[62]

제 6 장 디지털트윈 전망 및 준비

디지털트윈의 최종 목표는 물리 모델의 최적화 운영을 가능하게 하는 것으로써 공학 시뮬레이션의 기반 기술이 제대로 활용되도록 하는 것이다. 제너럴 일렉트로닉스에서는 자사의 모든 제품을 디지털트윈으로 만들고, 이를 생산하는 공장에도 디지털트윈을 도입하겠다 라고 말한 이후 디지털트윈의 모델 완성을 위한 관련 기술의 발전을 빠르게 성장시켰고 적용 산업 분야도 전 세계에 다양하게 꾸준히 확대시키고 있는 상황이다. 최근에는 사람이나 프로세스도 재현할 수 있다는 의견이 대두되고 있는 등 디지털트윈 개념의 확장이 빠르게 이뤄지고 있다. 이에 본 장에서는 디지털트윈의 시장에 대한 예측 분석 자료 검토와 함께 디지털트윈의 효과적인 대응을 위한 준비 상황들을 점검하여 보았다.

제 1 절 시장 예측

제 1 항 시장 조사 자료

리서치사인 마인드 커머스(Mind Commerce) 보고서에 의하면, 전 세계 디지털트윈 시장은 2017년 32억 달러 규모에서 연평균 98% 증가하여 2020년에는 960억 달러 규모로 성장할 것으로 전망했었다.[63] 그리고 2019년 2월 가트너에서의 보고서를 보아도 디지털트윈이 연평균성장률(CAGR) 40%에 육박하며, 2023년에서는 15.66백만불을 달성할 것이라 내다 보았다.[64] 또한 마켓앤마켓(Market and Market)에서도 전 세계 디지털트윈 시장을 2019년도 38억불에서 2025년도에는 358억불로 연평균성장률(CAGR)을 37.8%로 예측하였으며, 사물인터넷과 클라우드의 접합으로 디지털트윈의 수요 상승, 건강관리, 우주&방산, 자동차&교통의 상승 전망에 따른 것으로 제시하였다.[65] 또한 쉐브론(Chevron)은 2024년까지 도입할 디지털트윈 기술을 통해 석유 및 정유 분야에서 수만 달러의 비용을 절약할 수 있을 것으로 보고도 있다.46 이와 같이 디지털트윈 시장이 앞으로의 급격한 성장을 이루는 데는 무리가 없다는 것을 시장 예측 조사 결과들에서 보여주고 있다.

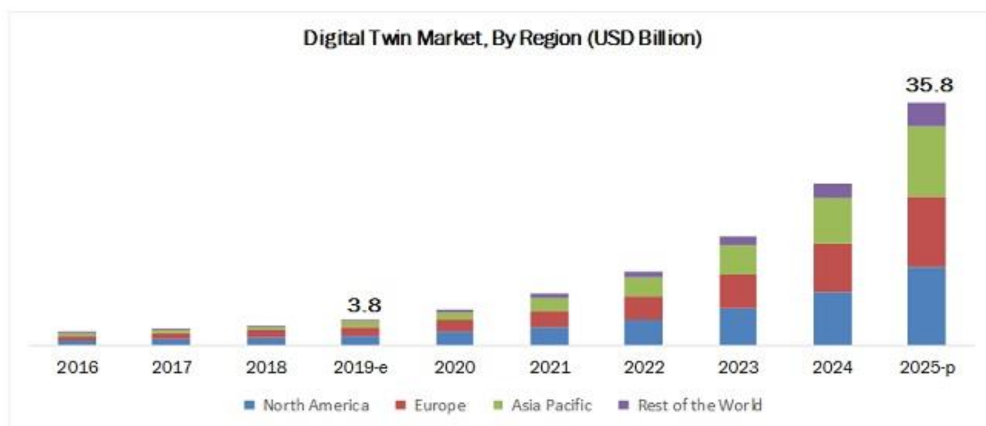


Figure 100. 디지털트윈 마켓[65]

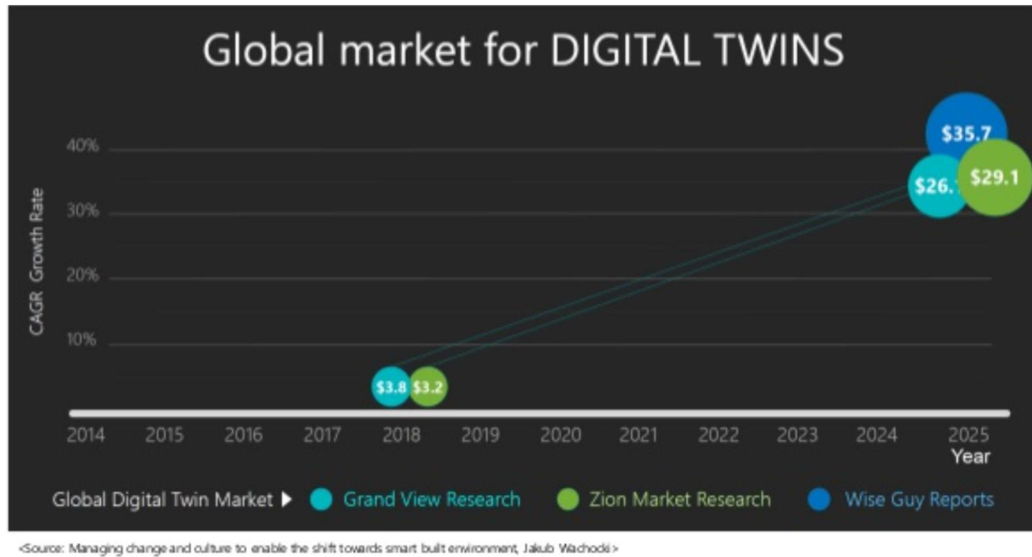


Figure 101. 디지털트윈의 글로벌 마켓[66]

제 2 항 데이터 거래 시장 형성

데이터가 과거에는 생산공정의 결과(process outcome)로만 인식하였으나 현재 데이터는 프로세스 개선(process enabler) 및 제품 판매(product enabler)를 위한 중요 자산으로 평가되어 제품 생산자들이 스스로 활용하여 새로운 부가가치를 만들기 위해 노력하게 되었다. 이에 따라 향후 데이터가 하나의 상품(product)으로 취급되면서 전용 거래시장에 유통되고 새로운 업계 질서가 형성될 것으로 보고 있다.[36]

독일, 일본 등 전통 제조강국들은 이미 산업용 데이터에 특화된 마켓 플레이스를 조성하고 시장 선점을 위해 노력 중으로 알려져 있다. 독일의 경우 산업혁신 플랫폼인 인더스트리얼 데이터 스페이스(Industrial data space) 사업을 추진하고도 있다. 일본은 2020년까지 사물인터넷 데이터를 거래하기 위한 시스템 구축을 하기로 하는 등 데이터 브로커 시장 확대, 전용 가상화폐 개발 등 데이터 시장이 형성될 수 있는 분위기가 조성되고 있으므로 해당 시장에 주목할 필요가 있다.

그렇지만 디지털트윈으로부터의 모든 자원과 현상에 대한 디지털화는 사용의 편리함에 반해 디지털 복제에 따른 노출 위험성도 그만큼 항상 도사리고 있다. 2002년 개봉했던 영화 ‘마이너리티 리포트(Minority Report)’ 처럼 디지털트윈이 머잖아 사회 각 분야를 통제할지도 모르는 공포에 직면하게 될지도 모른다.[13] 따라서 디지털화에 따른 개인정보 보호의 문제 해결이 특히 중요도가 높다고 할 수 있다.

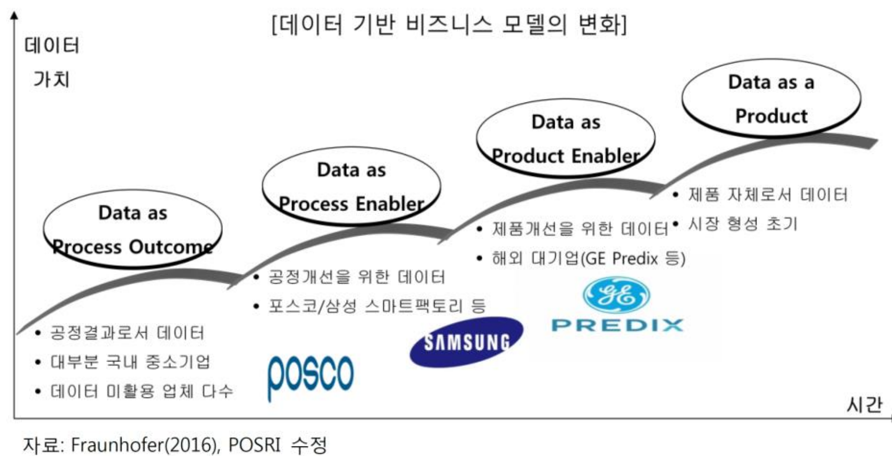


Figure 102. 데이터 기반 비즈니스 변화[36]

제 2 절 디지털트윈을 위한 대응 준비

기존 제품과 설비에 대해서도 디지털트윈 활용이 가능하게 되어 폭넓은 범위에서 생산성 향상을 지원해갈 수 있는 상황에 있다. 이제는 디지털트윈의 요소들이 결합된 시너지를 만들어 내도록 하는 이러한 기술 적용 방향에 따라 개별적인 제품별 이용을 지원할 수 있는 개인맞춤형 시장에 대한 포섭 준비도 해야만 한다.

제 1 항 소프트웨어 기술력 확보 방안 필요

선진기업들은 제품의 아이디어/개념화 및 설계, 제조/생산, 운영관리 및 유지보수까지 수명주기 전체에 적용할 수 있도록 하는 방대한 기술들의 집합이 필요한 상황에서 다수의 요소기술 전문업체에 대한 인수합병(M&A)을 통해 종합도구 세트를 구비 중에 있다. 지멘스의 경우 디지털트윈 기술을 판매하기 위해 기존에 쌓아온 하드웨어의 강점을 유지하는 동시에 소프트웨어 분야를 빠르게 강화하기 위해 인수합병 전략을 꾸준히 추진하면서 오랜 기간 동안 몸집을 불려왔었으며 이렇게 앞으로의 기술 트렌드에 맞춰 시장에서의 생존을 위해 대비하고 있었다. 즉, 2007년 PLM 소프트웨어 및 서비스 전문 기업 UGS을 인수했고 2012년에는 시뮬레이션 소프트웨어와 엔지니어링 서비스 등을 제공하는 LMS를 인수했다. 2016년에는 씨디어댑코(CD-adapco) 인수했으며, 같은 해 멘토그래픽스(Mentor Graphics)를 인수하며 디지털 엔터프라이즈 소프트웨어 포트폴리오를 보다 확장시켰다. 2017년에는 솔리도 디자인 오토메이션을 인수했는데 이 기업은 머신 러닝 기반의 편차 인식(variation-aware) 솔루션 기업으로 지멘스는 자동차, 통신, 데이터센터 컴퓨팅, 네트워킹, 모바일, 사물인터넷용 반도체 설계 및 특징 분석 등 기술을 보강하였다.

국내의 경우 디지털트윈을 독립적으로 수행할 수 있는 지멘스와 같은 거대 소프트웨어 기업으로의 몸집을 불리기에는 한계가 있기 때문에 우선적으로 디지털트윈의 요소기술로써 우리나라의

전문 소프트웨어 업체에서의 다양한 소프트웨어 개발 활동이 필요한 상황이다. 이를 통해 요소기술의 통합을 도모해 볼 수 있는 기회를 차근차근 만들어 나갈 필요가 있다.

제 2 항 다양한 플랫폼/솔루션 출시

세계적으로 여러 국가의 많은 기업들이 디지털트윈 시장을 공략하기 위한 다양한 플랫폼/솔루션을 출시하여 응용사례들을 만들어가고 있다. 이에 우리나라에서도 기초적인 단계부터 점진적으로 밟아 나가야 한다. 소프트웨어 업체간 협력을 도모하고 연계된 플랫폼 기술개발에 참여하는 등의 다각도 방법이 추진되어야 하며, 이를 활용해 산업체에서 실증의 많은 사례를 발굴하는데도 힘써야 한다. 디지털트윈이 제공하는 비즈니스 가치를 고려할 때, 기업은 개선된 제품 성능, 새로운 매출 가능성 및 보다 향상된 품질 보증 비용 관리 등 전략적 성과 및 시장 역학과 관련된 이슈에도 집중해 가야만 한다.

표 1. 디지털 트윈의 비즈니스 가치

비즈니스 가치 카테고리	잠재적 비즈니스 가치 상세
품질	• 전반적 품질 개선 • 보다 빠른 품질 결함 예측 및 탐지 • 품질 이탈 통제 및 품질 이슈 개시 시점 결정
품질 보증 비용 및 사후 서비스	• 보다 효율적인 서비스를 위해 현장의 현재 장비 구성 이해하기 • 품질 보증 비용의 전반적 절감 및 고객 경험 향상을 위한 적극적이고 보다 정확한 품질 보증 및 클레임 이슈 결정
운영 비용	• 제품 설계 및 엔지니어링 변경 실행 향상 • 제조 장비 성능 개선 • 운영 및 공정 변동성 감소
기록 보존 및 직렬화 (serialization)	• 리콜 및 품질 보증 클레임을 보다 잘 관리하고 필수 추적 요건을 충족하기 위하여 직렬화된 부품 및 원재료 기록 생성
신제품 출시 비용 및 리드 타임	• 신제품 시장 출시 속도 감소시키기 • 신제품 생산 비용 절감 • 리드타임이 긴 구성요소 인식 개선 및 공급망에 영향
매출 신장 기회	• 현장에서 업그레이드 준비된 제품 파악 • 서비스 제품의 효율성 및 비용 개선

(출처: Deloitte Analysis)

Figure 103. 디지털트윈의 비즈니스 가치[67]

제 3 항 고충실도의 공학 시뮬레이션 연계 활용

디지털트윈을 위해서는 가상시험 수준이 가능하도록 공학 시뮬레이션의 충실도가 높은 모델을 활용하도록 해야 한다. 이와 함께 다물리 해석이 가능한 소프트웨어 기능 구현 연구개발의 노력도 함께 필요하다. 물론 이에 필요한 슈퍼컴퓨터의 활용 가능 체계도 함께 준비되어야 할 것이다. 또한 산업분야의 디지털트윈 응용서비스 실현을 위해 최적화된 물리 모델의 환경으로 인공지능의 지능형 분석/예측 응용 소프트웨어 개발에 적극적인 지원이 필요하다.[1] 이러한 시뮬레이션 소프트웨어와 하드웨어 인공지능 소프트웨어가 서로 무엇보다도 플랫폼을 통해 디지털트윈이 제품 전주

기에 탄탄하게 연결되어야 한다. 아직까지 특정 분야에만 집중 활용되고 있는 개별적 소프트웨어의 역량을 결합하여 디지털트윈 운영환경 구축을 지원하는 종합 플랫폼으로의 개발 노력에 자발적으로 동참해야 함께 살아갈 수 있는 시대적 배경에 놓여 있다.

우리나라의 제조업의 경우 산업 구조는 대기업과 중소기업이 수직적으로 여러 단계를 거쳐 있기 때문에 완제품에 대한 디지털트윈으로의 구동은 ICT를 활용한 발전 전략의 확보로 만들 수 있다. 국내의 디지털트윈 솔루션 시장 견인 및 산업경쟁력 제고를 위해 여러 산업분야에 실증사업 확대, 경험/사례 공유 기반 마련도 필요하다.[1] 이를 위해 꾸준하게 국산 소프트웨어의 솔루션을 활용할 수 있도록 소프트웨어 기업의 참여를 이끌어야 한다. 실패가 있더라도 인정해주면서 도전할 수 있는 목표를 세워 연구개발에 몰입하는 분위기의 조성도 중요한 역할을 할 것이다.

제 7 장 시사점

제 1 절 디지털트윈 개념의 인식 개선

정책입안자 및 일선 해당 활용 기술자 등은 4차 산업혁명에 있어 중요 키워드가 되는 디지털트윈 개념(또는 모델)이 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 기술과 접합하면 바로 실현되는 것으로 인식할 수 있는 오류를 범하지 않도록 충분한 이해를 갖고서 정책 반영에 앞서 순차적으로 접근해야만 한다. 디지털트윈의 개념에서 가장 기본이 되는 중요한 기술인 공학 시뮬레이션이 스마트 팩토리나 스마트 시티와 같이 비교적 개략화되어 쉽게 접근 가능한 산업 분야의 활용이 가능하다. 하지만 제조 제품에서의 내구성 등 고려 대상에 대한 고정밀 공학 시뮬레이션 반영을 위해서는 기술적 접근을 위한 소프트웨어 및 하드웨어의 효과 극대화를 위한 충분한 시간이 필요하다는 점에 대해 이해하여 각 산업별 적용 수준에 대한 이해가 제고되어야 한다.

제 2 절 정부 주도의 로드맵 마련 및 실증사업 활성화

디지털트윈에 대한 올바른 이해와 공감대 형성을 위해 정부 차원에서 디지털트윈의 표준 아키텍처 정의 및 구성 요소별 연구개발 로드맵 수립이 추진되어야 한다. 디지털트윈이 국가 생존의 중요 잣대가 될 수 있는 만큼 국가 주도의 제조, 건축, 도시, 물류, 에너지 등 각 분야별 아키텍쳐와 구성 요소별 연구개발 로드맵이 함께 구성해야 한다. 또한 이를 통한 실증 사업을 마련하여 많은 분야에서 기술적 접근을 시도하게 하고 점진적인 융합 단계로 발전해 나가면서 표준화 해나가도록 길을 만들어 주어야 한다. 4차 산업혁명과 직결되는 디지털트윈이라는 용어는 이상적인 기술 융합의 결과로 탄생된 개념(또는 모델)이므로, 선별된 용어에 흔들려 이상만을 쫓는 과학기술 정책을 만들어가지 않고 탄탄한 요소 기술의 점진적 융합을 위한 실증 연구 단계부터 준비해 나가는 것이 매우 중요하겠다.

제 3 절 국가 주도의 플랫폼 지원 및 생태계 체계 마련

제조 기업이 발전해 갈 수 있도록 고부가 가치 제품 위주로 제품 생산 및 판매뿐 만이 아니라 운영 및 서비스까지 제품수명관리 등의 플랫폼을 활용하여 정착할 수 있도록 작은 기업에서의 도전 노력보다는 국가 주도의 디지털트윈 플랫폼을 제공해 주어 디지털트윈의 매개체 역할을 하도록 해야 한다. 또한 대. 중. 소 기업 간 수직 관계와 우리나라 제조업 특성을 반영해 제품의 전주기가 관리될 수 있도록 제조, 부품, 장비 업체의 연동 및 협업이 가능한 다차원적 플랫폼을 사용할 수 있도록 하는 기술 개발 및 해당 정책도 마련해 가야 한다. 디지털트윈을 완성하기 위해서는 기업의 규모화가 필요하기 때문이다. 결국 국가 주도가 아니라면 기업에서 인수합병 등을 통해 확장해 가야 하지만 그렇게 하기는 쉽지만은 않은 상황이다. 우리나라 제조업의 특징을 감안하여 수평적 통합 산업화와 단계적 산업화 생태계를 형성해야 한다. 무엇보다도 중소기업에 체계

가 제대로 구성되도록 도와야 한다. 이를 통해 어떤 인력의 이탈 상황이 발생되더라도 데이터의 중시에서 전혀 문제없는 환경으로 유지되어야 하기 때문이다. 그리고 국내 전문 공학해석 영역별 집중 개발 업체 소프트웨어의 플랫폼 탑재 및 연동을 통한 디지털트윈의 소프트웨어 경쟁력이 확보될 수 있는 선순환 체계를 만들어 소프트웨어 전문 기업의 성장을 돕도록 해야만 한다.

제 4 절 공학 시뮬레이션의 활성화 체계 지원

디지털트윈은 공학 시뮬레이션의 최종 완성품이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 시뮬레이션에 있어서도 선결 조건으로 가상실험으로의 실제 물리 모델에서와 완벽한 정합성을 확보해 내는 것이다. 공학 시뮬레이션이라는 필수 요소에 기대고 있는 디지털트윈은 가상실험과 같이 요소 기술(각 공학적 해석 항목)에 대한 세부 기술의 재연성이 제대로 이뤄지면서도 융합적 관점으로 탄탄한 프레임워크를 구현하는데 집중해야 한다. 이를 위해 국내의 소프트웨어 개발 업체의 프로젝트 지원 등 활발한 경쟁 시장 및 사용처가 마련되도록 기회를 주어야 한다. 해외 선진기술 예속화 방지 및 국내 관련 산업 생태계 구축을 위해 국산 기술/도구의 연구개발에 적극적인 투자가 필요하다.1 그리고 자체 공학 시뮬레이션 개발뿐 만 아니라 전 세계적인 공학 오픈소스 소프트웨어 활성화 기조에도 함께 국가 연구소가 나서서 일조해 가야 한다.

제 5 절 산업체 고성능컴퓨터 활용 지원 정책 추진

전 세계적으로 디지털트윈의 선점 노력들에 발맞추기 위해서는 완성도 높은 디지털트윈 모델이 요구되며, 자동차, 항공기 등 고부가가치 제품 관련 초고정밀도를 요구하는 가상 모델의 디지털트윈 모델을 위한 설계 단계에서의 충분한 검증 모델을 갖출 수 있어야 한다. 대규모 어셈블리의 물리 모델에 대한 공학시뮬레이션을 수행하도록 하기 위해서는 산업체에서 쉽게 접근할 수 있는 고성능 컴퓨터 활용 지원 정책을 적극 추진해야 한다. 전 세계에서의 경쟁적 엑사스케일 컴퓨터 개발 노력을 추진하는 것도 이와 같은 노력의 단편이라고 볼 수 있다. 우리나라에서도 앞다퉈 최고의 컴퓨팅 파워를 선점하도록 하는 기술 노력도 빠트려서는 절대 안될 중요한 문제이다. 하드웨어 기술개발 및 시뮬레이션 서비스를 산학연 중요 연구집단 또는 응용분야별로 집중화 시킨 전략 및 일반 경쟁적으로 사용해 볼 수 있는 보편화 고성능컴퓨터(HPC) 활용 체계를 마련시켜 국민 누구나 필요한 자원을 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 배려있는 기술개발 및 활용 정책이 함께 이뤄지도록 해야 한다.

마무리

4차 산업혁명 시대는 초연결, 생산 기간의 획기적 단축, 비용 효율화가 이뤄져야만 하는 것이다. 이에 따라 디지털트윈 시스템이 갖춰진 통합 플랫폼 하에서 기어가 맞물리 듯 체계적으로 최적의 기능을 갖춘 제품, 제조, 도시, 환경 등의 사회 모습을 찾아가게 될 것이다. 이제는 개별 사용자 경험을 매우 중시해야 할 상황에 맞닥뜨리게 될 것으로 개인별 맞춤형 제품의 개발 및 제작, 서비스로 해당 주문 시 신속 대응이 필요할 것이다. 그리고 장기간 사용해야 하는 제품일수록 앤드유저의 만족스러운 제품이 되도록 사용 패턴 데이터의 장기간 확보가 필요하며, 새로운 제품으로의 출시에 이를 활용할 수 있기 때문에 유지비용의 절감에 큰 도움을 주도록 해야만 한다.

디지털트윈은 공학 시뮬레이션을 통해 완벽한 물리 모델의 구현이 이뤄질 때 그리고 미래의 상황에 대한 가장 최적의 결과를 도출할 때가 최종 목적지에 도달할 수 있게 되는 것이다. 아직까지의 단편적인 사용에 국한되는 디지털트윈 모델의 용어적 매력에 의한 남발이 아닌 무엇보다도 가상시험을 구현할 수 있을 정도의 초정밀 공학 시뮬레이션의 기술 발전이 철저하게 요구되고 있다고 봐야 한다. 그리고 나서 2차적으로 센서나 사물인터넷, 네트워크, 빅데이터, 클라우드, 인공지능, AR/VR 등이 플랫폼상에 결합된 융합 기술 완성체가 되었을 때에야 말로 완전한 디지털트윈이라고 불려질 수 있게 될 것이다. 우리의 과학기술이 나아가는 방향은 완전한 디지털 전환으로 가는 디지털트윈이라고 볼 수 있다. 이렇듯 완벽한 디지털트윈을 만들어 실제의 물리 모델에 대해 제품 수명 동안 운영 상황에 대해 모니터링 하고 미래를 예측해 가면서 한편으로는 새로운 기술을 적용한 프로토타입 구현으로 신제품에 반영하도록 준비해 가야 하겠다. 이를 위해 다시 한번 강조하는 것으로 초정밀 공학 시뮬레이션이 제대로 자리 잡을 수 있도록 하는 전 세계적 공유 및 협력 구도에서의 공학 시뮬레이션 오픈 소스 소프트웨어 개발과 이를 뒷받침 해 줄 수 있는 슈퍼컴퓨터의 보급 확산, 체계적인 처리가 가능하도록 하는 플랫폼 등의 전폭적인 연구 노력 및 국가적 지원책이 총체적으로 동원되어야 하는 것이다. 이를 통해서만이 4차 산업혁명 시대를 안정적으로 국내에 정착시키기 위한 디지털 전환의 디지털트윈이 완성되는 길이라 감히 말할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 이광기, 유호동, 김탁곤, *디지털 트윈 기술 발전방향*, KEIT PD Issue Report, 2018

[2] J. Jasperneite, Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt, Internet Und Autom. 12 (2012) 12.

[3] DFKI: Deutsches Forschungszentrum fur Kunstliche Intelligenz(German Research Center for Artificial Intelligence)

[4] CPS를 뒷받침하는 디지털 트윈, 사이언스타임즈, 2019.04.03;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=18862305&memberNo=30120665&searchKeyword=%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8%ED%8A%B8%EC%9C%88&searchRank=12

[5] 조혜지, 김용균, 스마트 팩토리 기술 및 산업 동향, 정보통신기술진흥센터, 2018

[6] 가트너 선정 2017년 10대 기술 트렌드 '디지털 트윈' 이야기 – 사물인터넷과 산업 디지털화의 핵심 기술; https://www.gereports.kr/the-rise-of-digital-twins/

[7] What is a digital twin?; https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin

[8] What's the Difference Between a Simulation and a Digital Twin?; https://www.electronicdesign.com/technologies/embedded-revolution/article/21806550/whats-the-difference-between-a-simulation-and-a-digital-twin

[9] [칼럼] 디지털 트윈 기반 혁신;

https://www.cadgraphics.co.kr/newsview.php?pages=news&sub=news01&catecode=2&num=65889

[10] Introduction to Reduced Order Models;

https://www.ansys.com/-/media/ansys/en-gb/presentations/2019-innovation-conference-presentations/2019-inn-conf-day2-rom.pdf?la=en&hash=05E6349C28F53C22F6CD223E3401A5BF0F64DAB2

[11] C&I 연구소 블로그, IoT의 미래: 디지털 트윈 사물(Digital Twined Things)

[12] 앱클라우드연구소, "디지털트윈과 CAE의 미래", RecurDyn Technical Support, FunctionBay

[13] 디지털트윈, 지금이야말로 허실(虛實) 따질 때;

https://news.samsung.com/kr/%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8%ED%8A%B8%EC%9C%88-%EC%A7%80%EA%B8%88%EC%9D%B4%EC%95%BC%EB%A7%90%EB%A1%9C-%ED%97%88%EC%8B%A4%E8%99%9B%E5%AF%A6-%EB%94%B0%EC%A7%88-%EB%95%8C

[14] https://www.odva.org/Portals/0/Library/Conference/Paper%2013_2018-ODVA-Conference_Snide%20Harriman_Digital%20Twin%20in%20Automation_FINAL.pdf

[15] 김원태, 전인걸, 이수형, 박승민, "CPS 기술 동향", 정보통신산업진흥원, 2010.7.21

[16] E. A. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges", E. A. Lee, Technical Report No. UCB/EECS-208-8; 2008 (김은 변역,_Cyber Physical System (CPS, 사이버 물리 시스템): 자동화 관점에서 본 기회와 유용성)

[17] Philip Asare, David Broman, Edward A. Lee, Martin Torngren, S. Shyam Sunder "Cyber-Physical Systems: a Concept Map", http://cyberphysicalsystems.org/

[18] Cyber physical systems: Connecting computation and the physical world;

https://www.nsf.gov/cise/news/cps-perspective.jsp

[19] 제조업 혁신, '디지털 트윈'으로;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=17653155&memberNo=30120665&searchKeyword=%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8%ED%8A%B8%EC%9C%88&searchRank=14

[20] 산업용사물인터넷(IIOT)을 바라보는 눈;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16338699&memberNo=25802030&vType=VERTICAL

[21] '디지털 트윈', 제4차 산업혁명의 방아쇠 당길 수 있을까?;

https://news.samsung.com/kr/%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8-%ED%8A%B8%EC%9C%88-%EC%A0%9C4%EC%B0%A8-%EC%82%B0%EC%97%85%ED%98%81%EB%AA%85%EC%9D%98-%EB%B0%A9%EC%95%84%EC%87%A0-%EB%8B%B9%EA%B8%B8-%EC%88%98-%EC%9E%88

[22] 손상혁, 융합의 또 다른 이름, 사이버 물리 시스템, 지식의 지평, 2016

[23] 스마트팩토리(8)-정부 추진 정책(r.01); https://blog.naver.com/sigmagil/221543878448

[24] 디지털 지식 전문가 조형식의 지식마당;

https://www.cadgraphics.co.kr/newsview.php?pages=news&sub=news01&catecode=2&num=65889

[25] 조형식, CAE Simulation Innovation with Digital Twin, Digital Thread and AI Digital CAX Innovation Values, CAE컨퍼런스, 2019

[26] 현실에 상상을 더하다, 디지털 트윈은 어떻게 진화했을까?; https://blog.lgcns.com/1612

[27] M. Grieves, J. Vickers, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in

Complex Systems, in: Transdiscipl. Perspect. Complex Syst., 2016: pp. 85-113. doi:10.1007/978.

[28] Michael Grieves, Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management (pg. 133)

[29] Shafto, M. Conroy, R. Doyle, E. Glaessgen, C. Kemp, J. LeMoigne, L. Wang, DRAFT Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap. Technology Area 11, 2010.

[30] CPS를 뒷받침하는 디지털 트윈;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=18862305&memberNo=30120665&searchKeyword=%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8%ED%8A%B8%EC%9C%88&searchRank=12

[31] E.H. Glaessgen, D.S. Stargel, The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U. S. Air Force Vehicles, in: 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Struct. Struct. Dyn. Mater. Conf., 2012: p. 1818.

[32] Eric J. Tuegel, Anthony R. Ingraffea, Thomas G. Eason, and S. Michael Spottswood, Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin, International Journal of Aerospace Engineering Volume 2011, Article ID 154798, 14 pages

[33] 가상공간에 또 하나의 현실... 산업생활 혁신 돕는 '디지털 트윈';

http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2019121802101531650002&ref=naver

[34] 중국, 미래 유망기술 디지털 트윈(Digital Twin) 뜬다;

https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/782/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=173765

[35] GE and ANSYS to Preside Over a Digital Twin and Internet of Things Marriage;

https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/13692/GE-and-ANSYS-to-Preside-Over-a-Digital-Twin-and-Internet-of-Things-Marriage.aspx

[36] 김영훈, 디지털트윈 어떻게 전개될 것인가?, POSRI 이슈리포트, 포스코 경영연구원, 2018.12.04

[37] 무엇이든 복제한다! 디지털 트윈(Digital Twin);

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=21883732&memberNo=36410102&vType=VERTICAL

[38] https://www.kbfg.com/kbresearch/mobile/processFileDownloadManager.do?file_name=20190613145735_1.pdf

[39] LGCNS(2018.11), "물리적 세계외 디지털 세계의 통합, Digital Twin"

[40] Brunch.co.kr(2018.7), "디지털트윈의 진화와 적용사례"

[41] http://www.kinews.net/news/articleView.html?idxno=206953

[42] 디지털 트윈, 디지털 비서, 디지털 인공지능, 그리고 디지털 강소기업;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=21300483&memberNo=11778559&vType=VERTICAL

[43] https://gastopowerjournal.com/technologyainnovation/item/8613-first-gen-first-mover-in-asia-on-digital-twin-power-plant-technology

[44] 유용균, 최적설계와 딥러닝, CAE컨퍼런스, 2019

[45] Digital Twin: the Challenge of Nuclear Power Plants; 2017.6.30일자 기사

https://www.corys.com/en/steps/article/digital-twin-challenge-nuclear-power-plants

[46] 디지털 트윈(Digital Twin)의 7가지 사례;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=21884407&memberNo=45876522&searchKeyword=%EB%94%94%EC%A7%80%ED%84%B8%ED%8A%B8%EC%9C%88&searchRank=17

[47] [5G, '미래공장'을 한 걸음 현실로-③] 디지털 트윈은 CPS의 미러...5G·AI·IoT 등과 융합하며 진화;

http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=201&sub=0&idx=44372

[48] Honeywell website;

https://www.honeywellprocess.com/en-US/online_campaigns/Uniformance/Pages/driveThankyou.html

[49] Forge DevCon 2018: Unraveling the Mystery of Autodesk's Development Platform;

https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/18048/Forge-DevCon-2018-Unraveling-the-Mystery-of-Autodesks-Development-Platform.aspx

[50] Michel MAHE, "Aircraft Virtual Structural testing: Chanllenges for Structure Analysis, " ESA – Ref. PR0502863, AIRBUS, 2005

[51] A Material Point Method For Snow Simulation; https://sungsoo.github.io/2014/02/17/snow-simulation.html

[52] The matrix measure framework for projection-based model order reduction;

https://www.elitenetzwerk.bayern.de/elitenetzwerk-home/forschungsarbeiten/ingenieurwissenschaften/2010/castane-selga-orderreduction/

[53] 장윤혁, ANSYS ROM기술을 이용한 디지털 트윈의 구현, CAE컨퍼런스, 2019

[54] 이우진 외, "500MW급 석탄 보일러 Digital Twin 구축을 위한 ROM 인자의 영향 연구", 제59회 KOSCO SYMPOSIUM 초록집(2019년도 추계학술대회), 2019

[55] Reduced-Order Modelling How and Why – An Overview; https://www.ansys.com/-/media/ansys/en-gb/presentations/2017+customer+day+presentations/ansys-cd-2017-fluidsii-reduced-order-modelling-rom.pdf?la=en-gb

[56] Virtual testing of composites: Beyond make & break;

https://www.compositesworld.com/articles/virtual-testing-of-composites-beyond-make-break

[57] Virtual Wind Tunnel Online: Cloud-Based Simulation;

https://www.simscale.com/blog/2019/06/virtual-wind-tunnel-online/

[58] What's the Difference Between a Simulation and a Digital Twin?.;

https://www.electronicdesign.com/technologies/embedded-revolution/article/21806550/whats-the-difference-between-a-simulation-and-a-digital-twin

[59] 자동차의 소음과 진동만으로 고장을 찾아낸다?;

https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16888648&memberNo=35787715&vType=VERTICAL

[60] O. Kononenko, "Machine Learning and Finite Element Method for Physical Systems Modeling, Computational Engineering," Finance, and Science (cs.CE); Computational Physics (physics.comp-ph), 2018

[61] BSC, International Industrial Supercomputing Workshop, 2016

[62] Digital twin of an entire value chain – new PLM mantra, same technologies?;

http://beyondplm.com/2017/09/27/digital-twin-entire-value-chain-new-plm-mantra-technologies/

[63] [5G, '미래공장'을 한 걸음 현실로-③] 디지털 트윈은 CPS의 미러...5G·AI·IoT 등과 융합하며 진화;

http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=201&sub=001&idx=44372

[64] Advancing manufacturing with simulation-based digital twins;

https://insidehpc.com/2019/06/advancing-manufacturing-with-simulation-based-digital-twins/

[65] Digital Twin Market by Technology, Type (Product, Process, and System), Industry (Aerospace & Defense, Automotive & Transportation, Home & Commercial, Healthcare, Energy & Utilities, Oil & Gas), and Geography - Global Forecast to 2025;

https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html

[66] 신상희, 디지털트윈, 스마트 시티, 그리고 오픈소스, 스마트시티 부산포럼, 2019
[67] 딜로이트, "인더스트리 4.0과 디지털트윈: 제조업, 좋은 동료를 만나다", 2017

[68] 박종훈, 제조업을 넘어 다양한 산업으로, IoT 및 AI와 융합 중인 디지털트윈, 정보통신기획평가원, 2019

[69] Elisa Negri, Luca Fumagallia, Marco Macchia, A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems, Procedia Manufacturing 11(2017), pp.939–948

공학 시뮬레이션 기반 디지털트윈

(Engineering Simulation Based Digital Twin)

저자: 윤태호(한국과학기술정보연구원)

thyoon@kisti.re.kr



2020년 05월

비매품/무료



ISBN 978-89-294-1132-9
